



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ POLOHOVACÍHO ZAŘÍZENÍ PRO FV PANEL

DESIGN OF THE EXPERIMENTAL PV TRACKER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Černý

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Morávek, Ph.D.

BRNO 2019



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**  
Ústav elektroenergetiky

**Student:** Martin Černý

**ID:** 189083

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2018/19

## NÁZEV TÉMATU:

### Návrh konstrukčního řešení polohovacího zařízení pro FV panel

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Návrh konstrukčního řešení umožňující dvouosé nastavení polohy FV panelu
2. Návrh elektrické části k nastavování požadované polohy
3. Realizace navrženého řešení

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 27.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Jan Morávek, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Bibliografická citace:**

ČERNÝ, Martin. Návrh konstrukčního řešení polohovacího zařízení pro FV panel. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119496>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Jan Morávek.

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh konstrukčního řešení polohovacího zařízení pro FV panel jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne:

.....  
podpis autora

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je navrhnout a sestavit dvouosé zařízení pro polohování fotovoltaického panelu. Dále navrhnout výkresovou dokumentaci ovládací elektrické části a zrealizovat. Výstupem práce je technická dokumentace se seznamem součástí. Práce obsahuje také ekonomické zhodnocení nákladů.

## **Klíčová slova**

tracker, polohovací zařízení, sledovač Slunce, poloha Slunce, FV tracker

## **Abstract**

The aim of this thesis is to design, show plans and build two devices for positioning the solar panel. The output of the work is a technical documentation with a list and procedure of assembly. The thesis also includes economic cost evaluation.

## **Keywords**

tracker, solar pointing devices, Sun monitor, the location of the Sun, FV tracker

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Janu Morávkovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Dále děkuji Ing. Štěpánu Foralovi a Ing. Filipu Kovalovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne:

.....

podpis autora

# OBSAH

<b>OBSAH.....</b>	<b>7</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>11</b>
<b>SEZNAM VELIČIN.....</b>	<b>12</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>13</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>14</b>
<b>1 SLUNCE A VYUŽITÍ JEHO ENERGIE .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1 SLUNEČNÍ ZÁŘENÍ .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2 AKTIVNÍ VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE.....</b>	<b>15</b>
1.2.1 TERMICKÉ KOLEKTORY .....	15
1.2.2 FOTOVOLTAICKÉ PANELY .....	17
<b>1.3 EFEKTIVNÍ VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE.....</b>	<b>18</b>
1.3.1 PEVNÁ MONTÁŽ FV PANELU.....	18
1.3.2 JEDNOOSÉ SLEDOVAČE SLUNCE.....	18
1.3.3 DVOUOSÉ SLEDOVAČE SLUNCE .....	20
1.3.4 POUŽITÍ ZRCADLA .....	20
1.3.5 OBOUSTRANNÉ FOTOVOLTAICKÉ PANELY .....	21
1.3.6 KONCENTRAČNÍ SYSTÉMY .....	21
<b>1.4 TYPY JEDNOTEK PRO SLEDOVÁNÍ SLUNCE.....</b>	<b>23</b>
1.4.1 AKTIVNÍ TRACKERY .....	23
1.4.2 PASIVNÍ TRACKERY.....	23
1.4.3 ČASOVAČE .....	23
1.4.4 RUČNÍ SLEDOVÁNÍ .....	24
<b>2 POLOHA SLUNCE .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 ALGORITMUS NREL.....</b>	<b>25</b>
<b>3 ZATÍŽENÍ VĚTREM.....</b>	<b>28</b>
<b>4 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO TRACKERU.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 VOLBA POHONŮ.....</b>	<b>32</b>
4.1.1 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR .....	32
4.1.2 KROKOVÝ MOTOR.....	33
4.1.3 SERVOMOTOR .....	34
<b>4.2 APLIKACE POHONŮ V PRAXI.....</b>	<b>34</b>
4.2.1 LINEÁRNÍ AKTUÁTOR.....	34
4.2.2 SLEWING DRIVE .....	35
<b>4.3 MOŽNOSTI ŘEŠENÍ .....</b>	<b>35</b>
4.3.1 NÁVRH 1 .....	36
4.3.2 NÁVRH 2 .....	36

4.3.3 FINÁLNÍ ŘEŠENÍ .....	37
<b>4.4 KONSTRUKCE .....</b>	<b>38</b>
4.4.1 UCHYCENÍ KONSTRUKCE NA STŘECHU .....	38
4.4.2 NAKLÁPĚNÍ VE VERTIKÁLNÍ OSE .....	39
4.4.3 NAKLÁPĚNÍ V HORIZONTÁLNÍ OSE .....	40
4.4.4 UCHYCENÍ POHONŮ .....	41
4.4.5 UCHYCENÍ FV PANELU .....	41
4.4.6 KONCOVÉ SPÍNAČE .....	41
<b>4.5 SESTAVENÍ KONSTRUKCE .....</b>	<b>42</b>
<b>5 ELEKTRICKÁ ČÁST .....</b>	<b>45</b>
5.1 VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE .....	45
5.2 ZHOTOVENÍ ROZVADĚČE.....	45
<b>6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>47</b>
6.1 MECHANICKÉ ČÁSTI KONSTRUKCE .....	47
6.2 ROZVADĚČ.....	48
6.3 POHONY .....	49
6.4 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ NÁKLADŮ .....	50
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>51</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>53</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>57</b>
A VÝKRESOVÉ PŘÍLOHY .....	57
B OBSAH PŘILOŽENÉHO CD .....	57



## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1-1 Schéma solárního ohřevu pomocí kolektoru [4]</i> .....	16
<i>Obr. 1-2 Schéma plochého deskového solárního kolektoru [5]</i> .....	16
<i>Obr. 1-3 Schéma vakuového solárního kolektoru [5]</i> .....	17
<i>Obr. 1-4 Princip fotovoltaického panelu [6]</i> .....	17
<i>Obr. 1-5 Pevná montáž FV panelu na střeše [10]</i> .....	18
<i>Obr. 1-6 FV elektrárna s jednoosým sledovačem slunce [7]</i> .....	19
<i>Obr. 1-7 Horizontální jednoosé sledovače s nakloněnými moduly [7]</i> .....	19
<i>Obr. 1-8 FV systém s dvojosým sledovačem slunce [7]</i> .....	20
<i>Obr. 1-9 Schéma pohyblivého trackeru se zrcadlem [2]</i> .....	21
<i>Obr. 1-10 Centrální věž zachytávající energii odražených paprsků [10]</i> .....	22
<i>Obr. 1-11 Kolektor se Stirlingovým motorem [11]</i> .....	22
<i>Obr. 1-12 Řízení solárního trackeru pomocí aktivního trackeru [2]</i> .....	23
<i>Obr. 2-1 Závislost slunečního zenitu na slunečním azimutu na střeše budovy T12</i> .....	27
<i>Obr. 2-2 Východy a západy slunce během kalendářního roku na střeše budovy T12</i> .....	27
<i>Obr. 4-1 Schéma unipolárního řízení krokového motoru [19]</i> .....	33
<i>Obr. 4-2 Schéma bipolárního řízení krokového motoru [19]</i> .....	34
<i>Obr. 4-3 Lineární aktuátor [22]</i> .....	35
<i>Obr. 4-4 Slewing drive [8]</i> .....	35
<i>Obr. 4-5 Návrh č.1 – použití motoru a lineárního pohonu</i> .....	36
<i>Obr. 4-6 Návrh č. 2 - použití dvou lineárních pohonů</i> .....	36
<i>Obr. 4-7 Konečný návrh FV trackeru – bez FV panelu</i> .....	37
<i>Obr. 4-8 Konečný návrh FV trackeru – s FV panelem</i> .....	37
<i>Obr. 4-9 Uchycení konstrukce na střeše</i> .....	38
<i>Obr. 4-10 Vertikální pohyb – pohled z boku</i> .....	39
<i>Obr. 4-11 Pant pro pohyb v ose</i> .....	39
<i>Obr. 4-12 Horizontální pohyb – pohled zepředu</i> .....	40
<i>Obr. 4-13 Uchycení pohonu č.1</i> .....	41
<i>Obr. 4-14 Uchycení pohonu č.2</i> .....	41
<i>Obr. 4-15 Umístění koncových spínačů č. 1 a 2</i> .....	42
<i>Obr. 4-16 Umístění koncových spínačů č. 3 a 4</i> .....	42
<i>Obr. 4-17 První fáze sestavení bez uchycení pro FV panel</i> .....	43

<i>Obr. 4-18 Testování na budoucí pozici před galvanizací .....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 4-19 Konstrukce s připravenou kabeláží .....</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 5-1 Rozvaděč – ovládání.....</i>	<i>46</i>
<i>Obr. 5-2 Rozvaděč – vnitřní část.....</i>	<i>46</i>

## SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Výpočty zatížení větrem .....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 3-2 Výpočty namáhání a koeficient bezpečnosti .....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 6-1 Soupis drobného materiálu .....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 6-2 Soupis hutního materiálu .....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 6-3 Soupis materiálů použitých pro elektrickou část .....</i>	<i>48</i>
<i>Tab. 6-4 Parametry některých typů lineárních pohonů .....</i>	<i>49</i>
<i>Tab. 6-5 Celkové zhodnocení nákladů .....</i>	<i>50</i>

## SEZNAM VELIČIN

$A_{ref}$	-	Referenční plocha	$[m^2]$
$c_0(z_e)$	-	Součinitel orografie	
$c_{dir}$	-	Součinitel směru	
$c_e(z_e)$	-	Součinitel expozice	
$c_f$	-	Konstanta pro informační cedule	
$c_{prob}$	-	Součinitel pravděpodobnosti	
$c_r(z_e)$	-	Součinitel drsnosti terénu	
$c_{sCd}$	-	Součinitel konstrukce	
$c_{season}$	-	Součinitel ročního období	
$e$	-	Úhel slunečního zenitu	$[^\circ]$
$F_w$	-	Výsledná síla na celou plochu	$[N]$
$k$	-	Koeficient bezpečnosti	
$l$	-	Působíště síly od základny	$[mm]$
$M_o$	-	Maximální ohybový moment	$[N\ mm]$
$q_b$	-	Základní dynamický tlak	$[N\ m^{-2}]$
$q_p$	-	Maximální dynamický tlak	$[N\ m^{-2}]$
$v_{b,0}$	-	Výchozí hodnota základní rychlosti větru	$[m\ s^{-1}]$
$v_m$	-	Střední rychlost vzduchu	$[m\ s^{-1}]$
$w_{oz}$	-	Modul průřezu v ohybu	$[mm^3]$
$\phi$	-	Úhel slunečního azimutu	$[^\circ]$
$\rho$	-	Hustota vzduchu	$[kg\ m^{-3}]$
$\sigma_o$	-	Napětí v ohybu	$[MPa]$
$\sigma_{Do}$	-	Dovolené napětí v ohybu	$[MPa]$

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

DC	-	Direct Current
FEKT	-	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
FV	-	fotovoltaika
HSAT	-	Horizontální jednoosé sledovače slunce
HTSAT	-	Horizontální jednoosé sledovače s nakloněnými moduly
IP	-	Stupeň krytí
L	-	Tvar hliníkového profilu do písmene L
NREL	-	Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications
PSAT	-	Polarizované jednoosé sledovače
TSAT	-	Sklopné jednoosé sledovače
VSAT	-	Vertikální jednoosé sledovače
VUT	-	Vysoké učení technické v Brně

# ÚVOD

V 18. století se poprvé objevily parní stroje a postupně začaly fungovat i velké elektrárny na spalování fosilních paliv, které v tehdejší době zajišťovaly v podstatě veškerou výrobu elektrické energie. Tyto stroje a elektrárny procházely změnami a zlepšováním. Nicméně postupný pokrok lidstvo donutil zajímat se větší měrou i o jiné zdroje elektrické energie. I když se elektrárny na spalování fosilních paliv dnes stále podílejí největší měrou na vyrobené energii ve světě [36], je zde i množství jiných zdrojů, které prochází zdokonalováním a v budoucnu by mohly spalovacím elektrárnám konkurovat. Jedním z nich jsou zcela jistě obnovitelné zdroje.

Můžeme stále častěji pozorovat větrné nebo fotovoltaické elektrárny v polích nebo fotovoltaické panely na střechách rodinných domů, výrobních hal či obchodních center. Stále větší část investic v energetice míří do obnovitelných zdrojů. Vše nasvědčuje tomu, že v budoucnu bude vyrobené energie z obnovitelných zdrojů stále přibývat. Polovina celosvětově vyrobené elektrické energie by, podle dnes dostupných studií, měla v roce 2050 pocházet z obnovitelných zdrojů [37].

Tato práce si klade za úkol vytvořit návrh a následně sestavit FV tracker pro zefektivnění výroby elektrické energie pomocí fotovoltaického panelu. To znamená, že je nutné navrhnout konstrukci, vytvořit výkresovou dokumentaci jednotlivých částí, a nakonec celou konstrukci sestavit.

První část práce obsahuje základní informace o energii slunce, která se k nám dostává skrze atmosféru a o následném zpracování této energie pomocí různých typů solárních a fotovoltaických panelů. Jako další se práce věnuje aktuálnímu využití fotovoltaických panelů a systémů zefektivňující jejich účinnost.

Druhá část práce je zaměřena na teoretické výpočty. Jedná se o výpočet polohy Slunce pomocí algoritmu NREL, abychom byli schopni určit nutný rozsah pohybu solárního trackeru. V budoucnu bude možné tento výpočet využít pro případné automatické polohování pomocí řídicí jednotky. Následně, jelikož bude konstrukce umístěna na střeše budovy, je nedílnou součástí dimenzovat materiály tak, aby vydržely celoroční působení přírodních vlivů, proto jedním vytyčených cílů bylo určení zatížení konstrukce větrem, aby bylo jasné konečné namáhání a abychom si mohli být jisti, že konstrukce odolá.

V předposlední části se práce dostává k samotnému řešení. Nejdříve je popsáno několik možností, jak konstrukce může ve finále vypadat, podle kterých je navrženo několik verzí v programu Autodesk Inventor. Zároveň dojde k volbě vhodných pohonů a materiálů. Součástí je i návrh výkresové dokumentace ovládací elektrické části systému. Nakonec se tato část věnuje samotnému sestavení konstrukce, otestování, ošetření proti korozi, finálnímu usazení konstrukce na střeše budovy a konečnému rozvedení ovládacích obvodů.

Poslední část práce se věnuje ekonomickému zhodnocení celého projektu. Obsahem budou přehledné tabulky, kde bude soupis veškerého použitého materiálu i s finálním sečtením veškerých nákladů.

# 1 SLUNCE A VYUŽITÍ JEHO ENERGIE

## 1.1 Sluneční záření

Energie ze Slunce k nám proudí už od vzniku naší planety, nepřetržitě asi 4,5 miliardy let. Je to v oblasti jak viditelného spektra, tak neviditelného elektromagnetického záření. Toto neviditelné elektromagnetické záření, mezi které se řadí rentgenové, ultrafialové a další záření se na povrch naší planety nedostane díky atmosféře [1].

Cesta slunečního záření od Slunce směrem k zemi trvá asi osm a půl minuty. Když dorazí k naší zemské atmosféře či povrchu, tak se asi jedna třetina odrazí zpět od vesmírného meziprostoru [1].

V současné době většinu energie vyrobené a spotřebované lidstvem na naší planetě pokrývá spalování fosilních paliv. Taková výroba energie však není dostatečně ekologická, proto se v poslední době klade důraz na výrobu energie pomocí obnovitelných zdrojů.

Pokud bychom se energií ze Slunce zabývali více podrobněji, zjistíme že v podstatě veškerá energie na naší planetě je tu díky slunci. Teplo povrchu Země, tropické oceány, větrná energie, energie řek a potoků, mořské vlny, biomasa, ale i fosilní paliva jsou jakousi formou přeměněné energie slunce. Potom tu máme přímou sluneční energii [2].

Jestliže uvažujeme dvě třetiny energie ze Slunce, které se neodrazí zpět do vesmíru, zjistíme, že lidstvo z tohoto množství spotřebuje jen asi 0,01 %. Zbytek slunečního záření je pohlceno planetou. Bohužel tato energie není stabilní a během ročního, měsíčního, ale i denního rytmu může velmi kolísat. Dále také záleží na zeměpisné šířce, délce, nadmořské výšce a spoustě dalších faktorech. Navíc ještě hustota dopadajícího záření na jednotku plochy není příliš vysoká [1].

Postupem času se lidé naučili, jak přímé záření dopadající na povrch využívat. Ať už na ohřev vody, výrobu elektřiny nebo přeměnu na mechanickou energii.

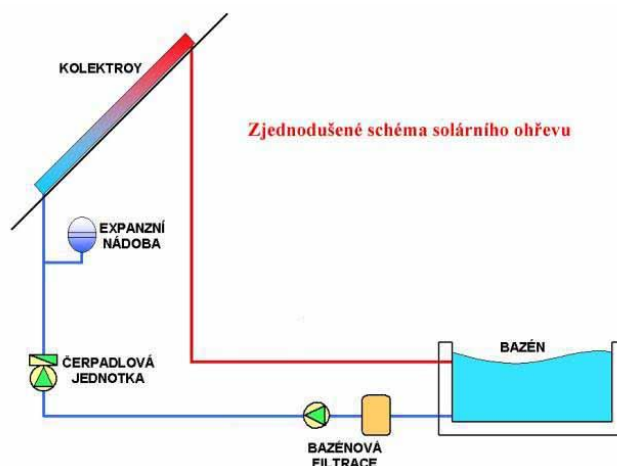
## 1.2 Aktivní využití sluneční energie

### 1.2.1 Termické kolektory

Termické kolektory se dnes již běžně používají k výrobě tepla. Nejčastěji se s nimi můžeme setkat při ohřevu vody v bazénech, přípravě teplé užitkové vody nebo u vytápění [3].

#### 1.2.1.1 Bazénové kolektory

Je to nejjednodušší typ kolektoru. Využívají se především k ohřevu vody v bazénu. Jedná se v podstatě jen o absorber černé barvy, který dobře pohlcuje světlo a je bez jakékoliv skříně chránící teplo a bez skleněné desky [3].



Obr. 1-1 Schéma solárního ohřevu pomocí kolektoru [4]

### 1.2.1.2 Ploché solární kolektory

Záření v těchto kolektorech nejprve zachytí absorbér a následně se transformuje na tepelnou energii. V dalším kroku je toto teplo pomocí teplonosné kapaliny přeneseno do výměníku.

Tyto kolektory se používají k přípravě teplé užitkové vody, pro vytápění, nebo pro uskladnění tepla pro pozdější využití [3].



Obr. 1-2 Schéma plochého deskového solárního kolektoru [5]

### 1.2.1.3 Vakuový solární kolektor

Vakuové solární kolektory pracují na principu vypařování teplonosné kapaliny, která přechází v plynném skupenství do kondenzátoru. Tam předá teplo topné vodě a následně se ochladí. Tento proces se opakuje [3].





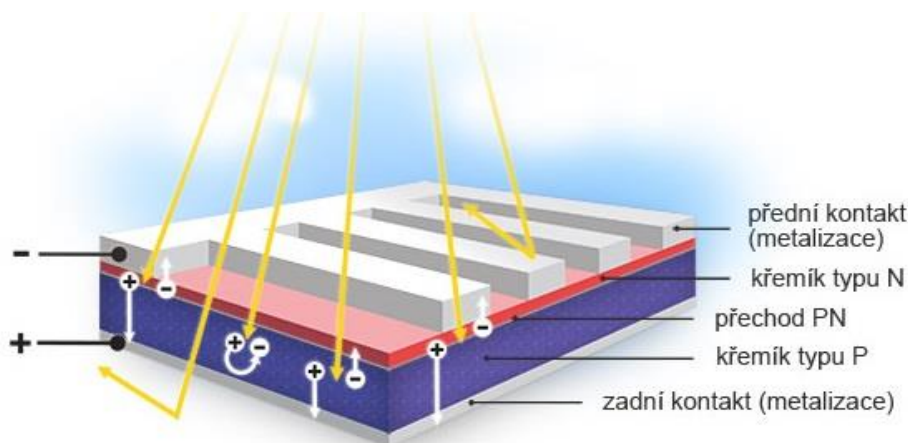
Obr. 1-3 Schéma vakuového solárního kolektoru [5]

### 1.2.2 Fotovoltaické panely

Na rozdíl od termických kolektorů, které mají za úkol výrobu tepla, fotovoltaické panely jsou určeny k výrobě elektřiny. Jejich princip fungování je založen na tzv. fotovoltaickém jevu. Základním stavebním kamenem každého fotovoltaického panelu je solární článek, což je plochá polovodičová součástka.

V dnešní době se nejčastěji používají FV panely na bázi křemíku. Je to z toho důvodu, že je to doposud nejznámější a nejlépe prozkoumaný polovodič s vhodnými vlastnostmi.

Hotový FV panel se následně skládá z velkého množství malých solárních článků spojených do sebe. Velký důraz je kladen na materiál, ze kterého je vyrobena horní plocha panelu. Musí mít dobré vlastnosti k pohlcování světla, aby měl panel vysokou účinnost. Musí splňovat dobrou ochranu před nepříznivými přírodními jevy jako kroupy, déšť, vichřice apod. [4].



Obr. 1-4 Princip fotovoltaického panelu [6]

## 1.3 Efektivní výroba elektrické energie

Pokud si domů chceme pořídit FV panely, je třeba si dobře rozmyslet, kam panel umístíme, abychom byli schopni co nejlépe využít jejich potenciál.

Máme několik možností instalace panelů – pevná montáž, s použitím sledovače slunce (jednoosého nebo dvouosého), můžeme využít i zrcadla, případně oboustranných panelů, které se na trhu objevily poměrně nedávno.

### 1.3.1 Pevná montáž FV panelu

S touto instalací se můžeme často setkat na střechách obytných domů. Velká výhoda této montáže FV panelu spočívá v nákladech na instalaci a údržbu [8]. Abychom byli schopni z panelu vytěžit maximum, musíme dopředu počítat s vhodným umístěním a natočením panelů. V ČR se jeví jako ideální orientace panelů směrem na jih s maximálním odklonem 10 až 15° na západ nebo na východ. Vertikálně potom sklon 30 až 40° s tím, že plocha nesmí být během dne zastíněna jinými objekty. Nejčastěji se potom u nás používají polykrystalické panely s účinností mezi 13 až 15 %. Jejich výhoda spočívá v tom, že nemusí být směřované přesně na jih, protože více využívají difúzní složku záření [8].



*Obr. 1-5 Pevná montáž FV panelu na střeše [10]*

### 1.3.2 Jednoosé sledovače slunce

Výkon FV panelu můžeme zefektivnit pomocí tzv. trackeru nebo sledovače Slunce. Jak už z názvu plyne, jde o jednoosé natáčení solárního panelu podle denního pohybu Slunce. Základem je pohon, s naprogramovanou řídicí jednotkou, který zajišťuje otáčení panelu podle aktuální polohy Slunce.

Existuje několik typů jednoosých sledovačů. Jsou to horizontální jednoosé sledovače – HSAT, horizontální jednoosé sledovače s nakloněnými moduly – HTSAT, vertikální jednoosé sledovače – VSAT, sklopné jednoosé sledovače – TSAT a polarizované jednoosé sledovače – PSAT [7].

### **Horizontální jednoosé sledovače (HSAT)**

Pro velké projekty a distribuci se v mnoha případech používají jednoosé horizontální sledovače, u kterých stačí na desítky panelů řadově jednotky pohonů a díky tomuto faktu je instalace o mnoho levnější. Zároveň se snižují nároky na údržbu. Nevýhodou je, že takto instalované panely nevyužijeme na 100 % jejich výkonu. Nejvýhodnější instalace takových elektráren je logicky kolem rovníkových oblastí, kde slunce celoročně cestuje v podstatě přímo od východu na západ. V našich podmínkách toto platí v jarních a letních obdobích, kdy je slunce vysoko na obloze a tím pádem dosahuje nejlepších výkonů [7].



*Obr. 1-6 FV elektrárna s jednoosým sledovačem slunce [7]*

### **Horizontální jednoosé sledovače s nakloněnými moduly (HTSAT)**

Pracují na stejném principu jako HSAT, ale oproti těmto sledovačům mají druhou osu nakloněnou v určitém úhlu, díky tomu může v některých případech docházet ke zvýšení potenciálu panelu. Jsou vhodné v oblastech vyšších zeměpisných šířek [7].



*Obr. 1-7 Horizontální jednoosé sledovače s nakloněnými moduly [7]*



## Vertikální jednoosé sledovače (VSAT)

Existují také jednoosé vertikální sledovače. Ty se natáčí pouze kolem své osy s tím, že panely jsou umístěny buď přímo vertikálně nebo jsou natočeny v určitém úhlu, což v některých případech může zvyšovat efektivitu. Vertikální sledovače mají velké využití především v zemích, blížících se jižnímu nebo severnímu pólu, kde se Slunce po obloze pohybuje v nízkém úhlu a v létě jsou dlouhé dny, při kterých Slunce opisuje dlouhý oblouk [8].

### 1.3.3 Dvouosé sledovače slunce

Použití tohoto trackeru nám zajišťuje nejvyšší možnou efektivitu FV panelů, jelikož zajišťuje celodenní natočení panelu přímo proti Slunci. Stejně jako u jednoosého sledovače je základem konstrukce, která obsahuje dva pohony s řídicí jednotkou, což zajišťuje potřebný pohyb. Bohužel je zde už značně vyšší cena a také je potřeba čas od času provést údržbu. Další nevýhodou je, že konstrukce musí být dostatečně pevná, aby odolala zatížení větrem.



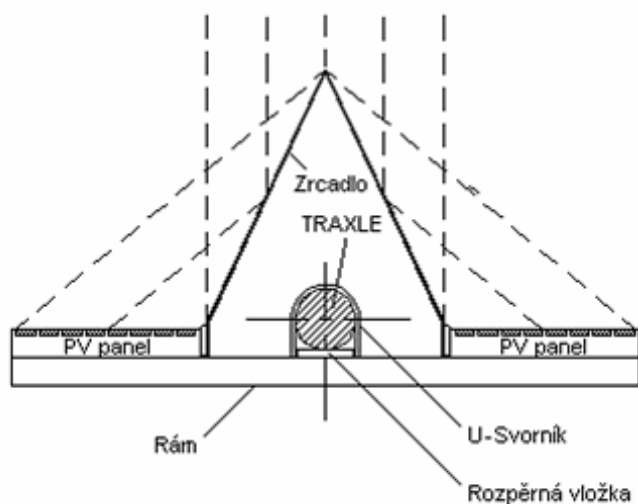
*Obr. 1-8 FV systém s dvojosým sledovačem slunce [7]*

### 1.3.4 Použití zrcadla

Dnes, kdy už je spousta mechanismů pro sledování slunce, se snažíme o jejich zefektivnění. Logicky se tedy nabízí použití zrcadla pro zvýšení intenzity záření dopadajícího na FV panel.

Můžeme tedy použít například pevnou montáž panelu, kde do vhodného úhlu a vzdálenosti umístíme zrcadlo, které zefektivní přeměnu sluneční energie.

Další možnost může mít vyšší efektivitu a využití například na solárních elektrárnách, kde může být zrcadlo umístěno přímo na panelu, a to buď uprostřed mezi dvěma panely nebo po okrajích, kde budou zrcadla koncentrovat nevyužité sluneční záření na panel.



Obr. 1-9 Schéma pohyblivého trackeru se zrcadlem [2]

Jako jedna z dalších možností zefektivnění využití slunečního svitu může být varianta využití pevné montáže v ideálním úhlu a na tracker umístit zrcadlo, které bude opět směřovat záření na panel v požadovaném úhlu. V dnešní době tento způsob využívají především koncentrační systémy [2].

### 1.3.5 Oboustranné fotovoltaické panely

V posledních letech se na trh dostávají oboustranné fotovoltaické panely. Ty, v případě dobrého umístění, nám mohou pomoci zvýšit energetický výtěžek až o 20-30% oproti běžným fotovoltaickým panelům. Jejich účinnost se pohybuje okolo 21% strany přední a asi 20% strany zadní [31].

Panel je schopen využít odražené záření na spodní straně, proto by nejspíše nebylo vhodné instalovat panely přímo na šikmé střechy rodinných domů, ale své využití by našel na místech, kde je právě odražené záření schopný zužítkovat. Jako příklad můžeme uvést architektonické prvky na střechách, jako jsou přístřešky, autobusové zastávky a další [31].

### 1.3.6 Koncentrační systémy

Jednou z dnes asi nejúčinnějších možností využití sluneční energie je využití solárních koncentračních technologií.

Mezi populární v dnešní době patří elektrárny v pouštích, které jsou stavěny do kruhu a uprostřed se nachází rezervoár tvořený draslíkem a dusičnanem sodným. Na dvouosých polohovacích zařízeních jsou umístěna zrcadla, která odráží sluneční energii přímo na rezervoár a tím sloučeniny zahřívají. Díky takto vyrobenému teplu se může roztáčet parní turbína a následně dochází k přeměně mechanické energie na energii elektrickou. Velkou výhodou proti klasickým fotovoltaickým elektrárnám je fakt, že tato technologie umožňuje výrobu i v noci díky roztavené soli [10].



*Obr. 1-10 Centrální věž zachytávající energii odražených paprsků [10]*

Jako další koncentrační technologii s velkým potenciálem můžeme jmenovat solární systém s parabolickými zrcadly a stirlingovým motorem. Parabolické zrcadlo odráží sluneční svit přímo do koncentrátoru, díky čemuž dochází k ohřívání média, které roztáčí motor.

Stirlingův motor je alternativa k parnímu stroji. Funguje díky přivedenému teplu do uzavřeného pístu, který následně pohání setrvačnick. Účinnost tohoto motoru je kolem 40 %.

Vypadá to, že elektrárnám s parabolickými zrcadly patří budoucnost fotovoltaiky. Díky jejich vysoké účinnosti oproti klasickým fotovoltaickým elektrárnám, která se pohybuje kolem 34 %. Pro srovnání, účinnost tradiční elektrárny se pohybuje kolem 15 %, u lepších kolem 23 % [11].



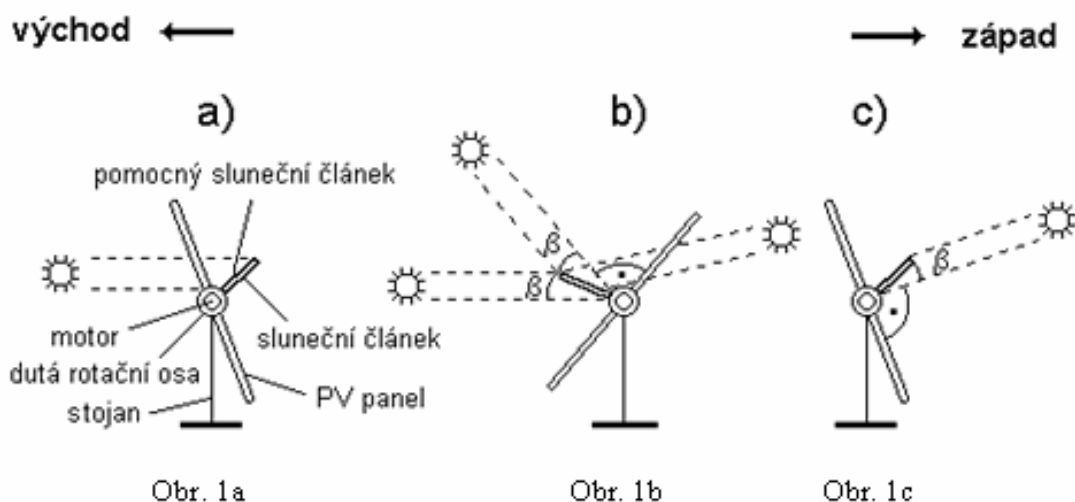
*Obr. 1-11 Kolektor se Stirlingovým motorem [11]*

## 1.4 Typy jednotek pro sledování slunce

Výběr typu sledovače je založen na mnoha faktorech. Rozhodovat může geografická poloha, velikost instalace, povětrnostní podmínky a další faktory.

### 1.4.1 Aktivní trackery

Aktivní trackery využívají pohony, které pomocí řídicí jednotky směřují sledovač na směr slunečního záření od východu směrem na západ. Jsou řízeny pomocí čidla, díky kterému je možno sledovat nejvyšší intenzitu slunečního svitu [8]. Tato informace o intenzitě slunečního svitu putuje do řídicí jednotky, která ji zpracuje a následně provede natočení pohonů podle programu.



Obr. 1-12 Řízení solárního trackeru pomocí aktivního trackeru [2]

### 1.4.2 Pasivní trackery

Tyto systémy nevyužívají žádných motorů, pohonů nebo řídicích jednotek. Nejběžnější pasivní trackery fungují na principu stlačené kapaliny s nízkou teplotou varu, která je poháněna na jedné nebo druhé straně. Následně se díky zahřívání začne kapalina postupně přelévát z jedné strany na druhou. Dále už pracuje gravitace. Tato změna způsobí, aby se polohovací zařízení pohybovalo. Bohužel, tento způsob není zcela přesný, proto se hodí jen pro určité typy panelů, na které nemusí sluneční svit dopadat přímo [8]. Nepřesnost se může projevit především v oblastech, kde je chladnější podnebí během ranních hodin, kdy se kapalina dostatečně nestihne ohřát.

### 1.4.3 Časovače

Časovače se skládají ze stejných prvků jako aktivní trackery. Rozdíl je ale v tom, že tyto jednotky nemají čidlo slunečního svitu a fungují díky řídicí jednotce, která nejdříve vypočítá přesnou polohu slunce podle určitého naprogramovaného algoritmu a díky této informaci řídí natočení pohonů.

#### **1.4.4 Ruční sledování**

Jak jistě víme, nemění se jen poloha Slunce během dne, ale mění se i trasa, po které Slunce putuje po obloze během celého roku. Pokud tedy nevyužijeme možnosti řízení panelů pomocí řídicí jednotky, můžeme využít operátora, který bude upravovat polohu sledovače. Tím rozumíme osobu, která jednou za určitý časový interval (např. jednou za měsíc) upraví polohu sledovače ručně nebo pomocí pohonů, tak aby aktuální pozice nejlépe odpovídala trase, po které se Slunce v daném měsíci/ročním období pohybuje [8].



## 2 POLOHA SLUNCE

Pro návrh FV trackeru je nutné se seznámit s pohybem Slunce na obloze během dne, abychom vytvořili konstrukci, která bude schopná pohybu do všech potřebných poloh. Existuje několik různých algoritmů nebo výpočetních programů pro určení přesné polohy Slunce. Díky nim můžeme získat informaci o aktuálním úhlu slunečního svitu během dne.

V průběhu roku se vlivem pohybu Země a jejího náklonu mění délka dne a noci (v závislosti na lokalitě). Slunce nekoná stále stejný pohyb, ale během letních dnů vykonává delší trasu než v zimním období, kdy jsou dny kratší. Konstrukci trackeru je nutné navrhnout tak, aby byla schopna pohybu v dostatečném rozmezí.

### 2.1 Algoritmus NREL

Ze zdroje [12] bylo zjištěno, jak během kalendářního roku cestuje Slunce po obloze a v závislosti na tom byl vypočten operační rádius solárního trackeru. Nicméně pro ověření této informace byl proveden výpočet pomocí algoritmu NREL pro hodnoty odpovídající místu instalace - na střeše budovy T12.

NREL – Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications je dnes asi nejpoužívanější algoritmus pro výpočet polohy slunce. Výstupem jsou úhly slunečního zenitu a azimutu. Existuje spousta jiných algoritmů pro výpočet polohy slunce, nicméně nejlepší nejistota u většiny z těchto výpočtů je větší než  $\pm 0,01$  %. U některých je dokonce výpočet platný jen po omezený počet let. Výhodou NREL algoritmu je jeho platnost, a to je v období od -2000 př. n. l. až do 6000 n. l. a také nejistota, je rovna  $\pm 0,0003$  %. Algoritmus popisuje Jean Meeus [13].

Výpočty byly provedeny v programu Microsoft Excel 2016 a na základě těchto výpočtů byly vytvořeny grafy pro potřebné nejnížší a nejvyšší azimuty a zenity během roku s přesnými zeměpisnými souřadnicemi budoucího umístění trackeru.

Pro výpočet polohy slunce je třeba velké množství výpočtů, proto je zde uvedeno jen několik těch hlavních. Dále je přiložen soubor ve formátu .xlsx, kde jsou veškeré výpočty provedeny číselně.

**Topocentrický úhel elevace bez korekce atmosférické refrakce  $e_0$  [°]**

- Zeměpisná šířka pozorovatele  $\varphi$  [°]
- Topocentrická sluneční deklinace  $\delta'$  [°]
- Topocentrický lokální hodinový úhel  $H'$  [°]

$$e_0 = \text{Arc sin}(\sin \varphi \cdot \sin \delta' + \cos \varphi \cdot \cos \delta' \cdot \cos H') \quad (2.1)$$

**Korekce atmosférické refrakce  $\Delta e$  [°]**

- Průměrný roční místní tlak  $P$  [mbar]
- Průměrná roční místní teplota  $T$  [°C]

$$\Delta e = \frac{P}{1010} \cdot \frac{283}{273 + T} \cdot \frac{1,02}{60 \cdot \tan \left( e_0 + \frac{10,3}{e_0 + 5,11} \right)} \quad (2.2)$$

**Topocentrický úhel sklonu (sluneční zenit)  $e$  [°]**

- Výsledná hodnota znamená, v jakém úhlu je Slunce oproti Zemi.

$$e = e_0 + \Delta e \quad (2.3)$$

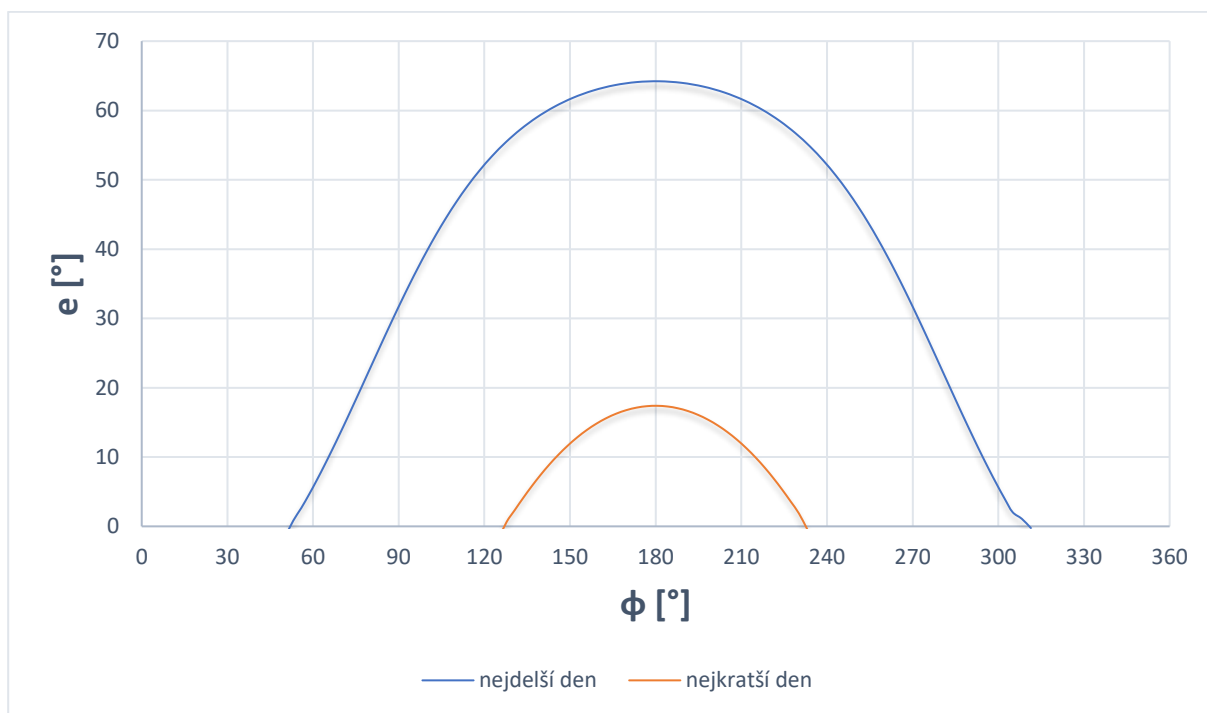
**Topocentrický astronomický úhel  $\Gamma$  [°]**

$$\Gamma = \text{Arc tan2} \left( \frac{\sin H'}{\cos H' \cdot \sin \varphi - \tan \delta' \cdot \cos \varphi} \right) \quad (2.4)$$

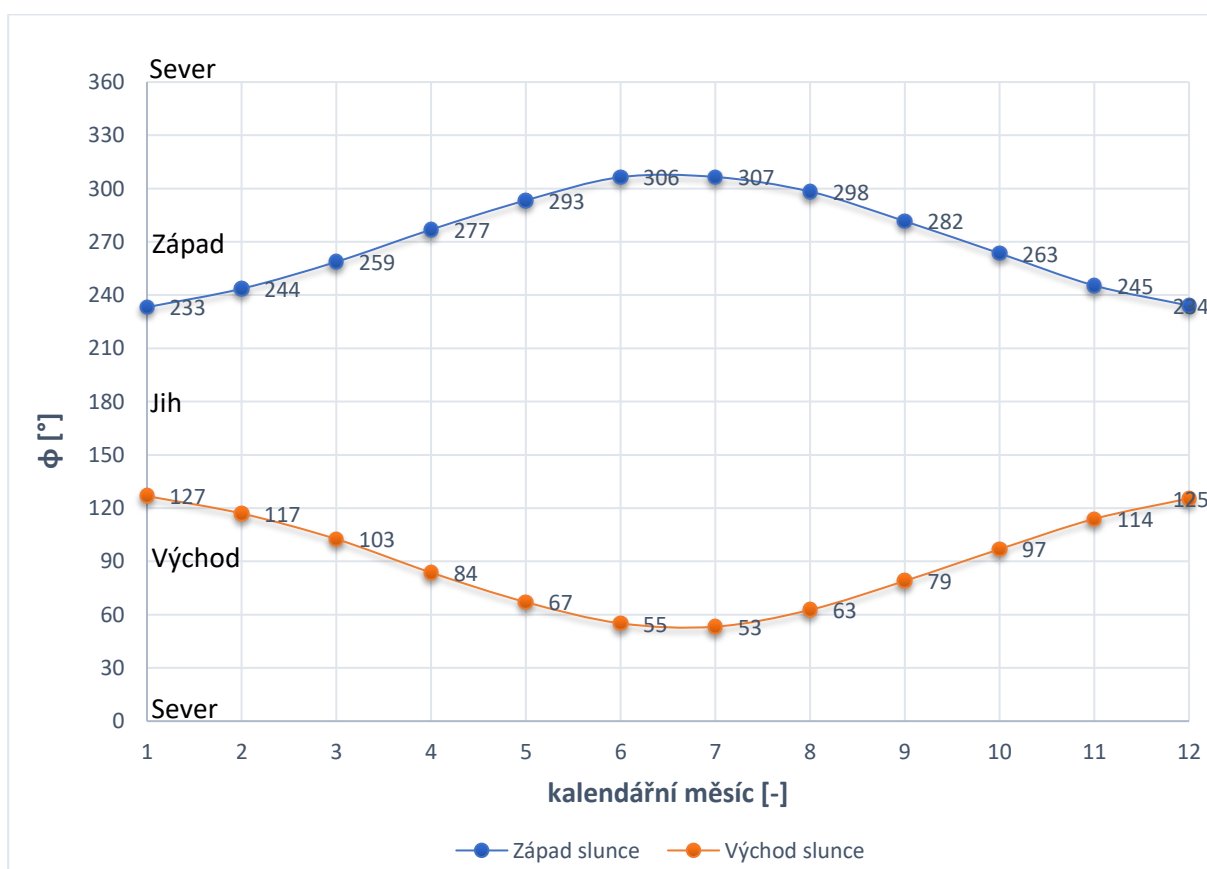
**Topocentrický azimutový úhel (sluneční azimut)  $\Phi$  [°]**

- Výsledná hodnota se měří směrem od severu k jihu. Z toho plyne, že 0° je směr sever, 90° směr východ, 180° směr jih a 270° směr západ.

$$\Phi = \Gamma + 180 \quad (2.5)$$



Obr. 2-1 Závislost slunečního zenitu na slunečním azimutu na střeše budovy T12



Obr. 2-2 Východy a západy Slunce během kalendářního roku na střeše budovy T12

### 3 ZATÍŽENÍ VĚTREM

V této kapitole se práce zabývá silami zapříčiněnými větrem a působícími na konstrukci. Výpočet uvažuje nejhorší možnou variantu a pokusí se co nejpresněji přiblížit výsledku. Jako nejhorší možná varianta je uvažovaný případ, kdy je panel svou největší plochou natočen přímo proti směru síle větru. Jako nejlepší materiál se ukázala kniha Navrhování konstrukcí na zatížení větrem, příručka k normě ČSN EN 1991-1-4. Následující kapitola se řídí přesným postupem z návodu. Pro co nejlepší napodobení situace byl použit postup pro výpočet reklamní tabule, jelikož tento případ se nejlépe podobá případu zkoumanému [14]. Dále byly absolvovány dvě konzultace s absolventem fakulty strojního inženýrství, vyučujícím na fakultě elektrotechniky VUT. Nakonec bylo vypočteno výsledné namáhání konstrukce a určen koeficient bezpečnosti podle zdrojů [33] a [34].

#### ***Základní rychlost větru $v_b$ [ $m s^{-1}$ ]***

- Nejdříve z mapy větrných oblastí určíme výchozí hodnotu základní rychlosti větru  $v_{b,0}$ . V našem případě volíme hodnotu pro oblast II -  $v_{b,0} = 25 m s^{-1}$
- Určíme součinitel směru a ročního období, v našem případě  $c_{dir} = c_{season} = 1$
- Součinitel pravděpodobnosti je v našem případě  $c_{prob} = 1$

$$v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} \cdot c_{prob} = v_{b,0} \quad (3.1)$$

#### ***Základní dynamický tlak větru $q_b$ [ $N m^{-2}$ ]***

- Pro vzduch je hodnota hustoty vzduchu rovna  $\rho = 1,25 kg m^{-3}$
- Ve výšce 10 m se potom základní dynamický tlak  $q_b$  vypočítá podle vzorce

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (3.2)$$

#### ***Střední rychlost větru $v_m$ [ $m s^{-1}$ ]***

- Nejprve stanovíme pro referenční výšku a kategorii terénu, v našem případě  $z_e = 30$  m a kategorie terénu III součinitel orografie  $c_0(z_e) = 1$  a součinitel drsnosti terénu  $c_r(z_e) = 0,992$

$$v_m(z_e) = v_b \cdot c_0(z_e) \cdot c_r(z_e) \quad (3.3)$$

### **Maximální dynamický tlak $q_p$ [ $N\ m^{-2}$ ]**

- Nejprve pomocí referenční výšky a součinitele orografie určíme součinitel expozice. V našem případě  $c_e(z_e) = 2,479$   
Pro součinitele orografie  $c_0(z_e) = 1$  se maximální dynamický tlak vypočítá podle vztahu:

$$q_p(z_e) = q_b \cdot c_e(z_e) \quad (3.4)$$

### **Výsledná síla na celou plochu panelu $F_w$ [ $N$ ]**

- Nejdříve určíme součinitel konstrukce  $c_s c_d$ . V našem případě bude roven jedné. Toto platí pro:
  - pozemní stavby menší než 15 m
  - fasády a prvky střech se základní vlastní frekvencí větší než 5 Hz
  - Pozemní stavby s rámovou konstrukcí a nosnými stěnami, které jsou nižší než 100 m
  - komíny s kruhovým průřezem, jejichž výška je menší než 60 m
- Následně určíme konstantu  $c_f$ . Jelikož postupujeme jako při výpočtu zatížení informační tabule, konstanta bude rovna  $c_f = 1,8$
- Určíme referenční plochu, v našem případě uvažujeme nejhorší možnou variantu, a to je případ úplného natočení proti směru větru. Tím pádem nemusíme počítat s žádným úhlovým náklonem a referenční plocha bude rovna  $A_{ref} = 1,6\ m^2$

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (3.5)$$

*Tab. 3-1 Výpočty zatížení větrem*

Základní rychlost větru	$v_b$	$25\ m\ s^{-1}$
Základní dynamický tlak	$q_b$	$391\ N\ m^{-2}$
Střední rychlost větru	$v_m$	$24,8\ m\ s^{-1}$
Maximální dynamický tlak	$q_p$	$969,29\ N\ m^{-2}$
Výsledná maximální síla	$F_w$	$2791,55\ N$

**Modul průřezu v ohybu  $W_{oz}$  [mm<sup>3</sup>]**

- Ze zdroje [31] byl vypočten modul průřezu v ohybu pro hlavní nosnou část konstrukce.
- $W_{oz} = 23564,8 \text{ mm}^3$  průřezu v ohybu  $W_{oz}$  [mm<sup>3</sup>]

**Maximální ohybový moment  $M_o$  [Nm]**

- Vypočítáme podle velikosti a místa působiště síly.
- Pro výpočet použijeme velikost síly podle předchozích výpočtů  $F_w$ .
- Jako  $l$  dosadíme délku do místa působiště od podstavy. V tomto případě  $1000 \text{ mm}$

$$M_o = F_w \cdot l \quad (3.6)$$

**Napětí v ohybu  $\sigma_o$  [MPa]**

- Napětí v ohybu potom vychází ze vztahu, kdy podělíme maximální ohybový moment modulem průřezu v ohybu.

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_{oz}} \quad (3.7)$$

**Dovolené napětí v ohybu  $\sigma_{Do}$  [MPa]**

- Pro kontrolu pevnosti je nutné v poslední fázi ověřit, zda použitý materiál vyhovuje pevnostní podmínce. V praxi to znamená, že porovnáme dovolené napětí s napětím v ohybu a dovolené napětí musí být rovno nebo větší napětí v ohybu.
- Z tabulek pro ocel [35] bylo odečteno dovolené napětí, v tomto případě  $\sigma_{Do} = 350 \text{ MPa}$

$$\sigma_o \leq \sigma_{Do} \quad (3.8)$$

**Koeficient bezpečnosti [-]**

- Ve finální fázi byl vypočten koeficient bezpečnosti. Je to podíl dovoleného napětí v ohybu a maximálního napětí v ohybu.

$$k = \frac{\sigma_{Do}}{\sigma_o} \quad (3.9)$$

*Tab. 3-2 Výpočty namáhání a koeficient bezpečnosti*

Modul průřezu v ohybu	$W_{oz}$	$23564,8 \text{ mm}^3$
Maximální ohybový moment	$M_o$	$2791,55 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$
Napětí v ohybu	$\sigma_o$	$118,46 \text{ MPa}$
Dovolené napětí v ohybu	$\sigma_{Do}$	$350 \text{ MPa}$
Koeficient bezpečnosti	$k$	$2,74$

Jak můžeme vidět v tabulce 3-2, Dovolené napětí v ohybu je skoro trojnásobně vyšší než maximální napětí v ohybu za nejméně příznivých podmínek. Díky tomu můžeme konstatovat, že je konstrukce dostatečně dimenzovaná na zatížení větrem. Koeficient bezpečnosti vychází  $k = 2,74$ .

## 4 NÁVRH FOTOVOLTAICKÉHO TRACKERU

V této kapitole se bude práce věnovat návrhu samotného FV trackeru. Jako první bude na řadě volba pohonů, následně bude porovnáno několik typů konstrukcí a volba konečné varianty. Dále se bude kapitola zabývat realizací projektu, sestavením v dílně a konečným uchycením na střeše.

### 4.1 Volba pohonů

Pro potřeby práce je nutné, aby pohonná jednotka byla dostatečně dimenzovaná na hmotnost trackeru. Ideálně se jeví pomaloběžné pohony, vzhledem k tomu, že Slunce po obloze cestuje jen velmi malou rychlostí [30]. Důležitý je také požadavek na dostatečné krytí IP, vzhledem k tomu, že polohovací zařízení bude vystaveno všem venkovním vlivům. Výhodou také může být informace o poloze, tzv. zpětná vazba řešena pomocí potenciometru nebo enkodéru. Z výše jmenovaných podmínek se nejlépe jeví stejnosměrné motory, krokové motory, servopohon nebo speciální kategorie - lineární pohony.

#### 4.1.1 Stejnosměrný motor

Stejnosměrné motory mají stejnou konstrukci nezávisle na tom, jestli je používáme jako motor nebo jako generátor. Mají velký rozběhový moment a umožňují stupňovité řízení otáček. Výhodou je, že otáčky mohou být mnohem vyšší než u motorů s točivým magnetickým polem.

Magnetické pole je vytvářeno díky stejnosměrnému proudu, který protéká přes budící vinutí. Na vodiče závitů potom působí pod každým pólem síla. Tu můžeme určit podle pravidla levé ruky. Díky tomuto pravidlu potom vzniká točivý moment. Tento moment potom zajišťuje otáčení směrem k neutrální zóně. V neutrální zóně nepůsobí žádný moment, nicméně je potřeba změnit směr průchodu proudu (přepólovat). To zajišťuje tzv. komutátor.

Každé vinutí na rotoru je spojeno s lamelami na komutátoru. To znamená, že stranami cívek pod jedním budícím polem protéká proud stejného směru. Tímto je zajištěno, že i když se motor otáčí, osa magnetického pole stále zůstává ve stejném směru. Jednoduše se také změní směr otáčení motoru. Provedeme přepólování buď rotoru nebo statoru. Většinou se používá přepólování kotvy, tedy rotoru [16].

Velkou výhodou DC motoru je jeho vysoká účinnost na celém rozsahu jeho otáček. Jako další výhodu můžeme jmenovat jeho nízkou cenu. Jsou obvykle levnější než krokové motory nebo bezkartáčové motory. Zároveň je také tichý [20]. Nevýhodou je potom častá výměna uhlíků kvůli jiskření a jejich následnému opotřebení.



### 4.1.2 Krokový motor

Jak už z názvu vyplývá, krokový motor slouží k přeměně postupných elektromagnetických pulsů na úhlový nebo lineární posun, tzv. kroky [21].

Je založen na principu synchronního stroje, ale s tím rozdílem, že magnetické pole není vytvářeno střídavým polem, ale postupně se přepínajícími cívkami ve statoru. Rotor je potom tvořen válečkem z magneticky měkkého nebo tvrdého materiálu [17]. Změnami směrů proudů v jednotlivých cívkách dochází k přepólování a díky tomuto jevu vzniká točivé pole. Výhodou tohoto motoru je, že můžeme měnit točivé pole buď po krocích nebo určitou rychlostí otáček [19].

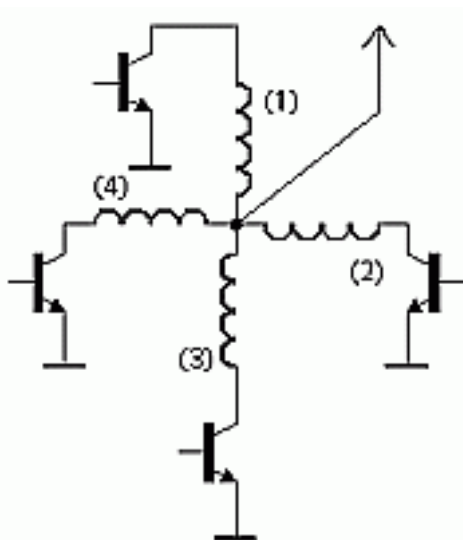
Krokové motory jsou tvořeny robustní konstrukcí, což je jedna z výhod. Jako další můžeme jmenovat nízké nebo žádné náklady na údržbu. Oproti jiným motorům je potom snadné určit aktuální polohu a není potřeba žádných speciálních snímačů polohy. Dále má vysoký točivý moment i při nízkých otáčkách. Mezi nevýhody potom patří jeho hlučnost a rezonance, kvůli které může při určitých frekvencích dojít k selhání točivého momentu a ztrátě pozice. Ve vysokých otáčkách se potom ukazuje, že točivý moment není příliš vysoký [20].

Využití těchto motorů se potom může najít tam, kde potřebujeme znát aktuální polohu natočení nebo pokud potřebujeme otáčet jen o určitý úhel. Pro řízení krokových motorů se potom používá několik metod.

#### 4.1.2.1 Unipolární provoz

Jde o řízení, kdy je každé vinutí na statoru tvořeno pouze jednou cívkou. Točivé pole je potom vytvořeno pomocí přepínání jednotlivých cívek v kruhu [16].

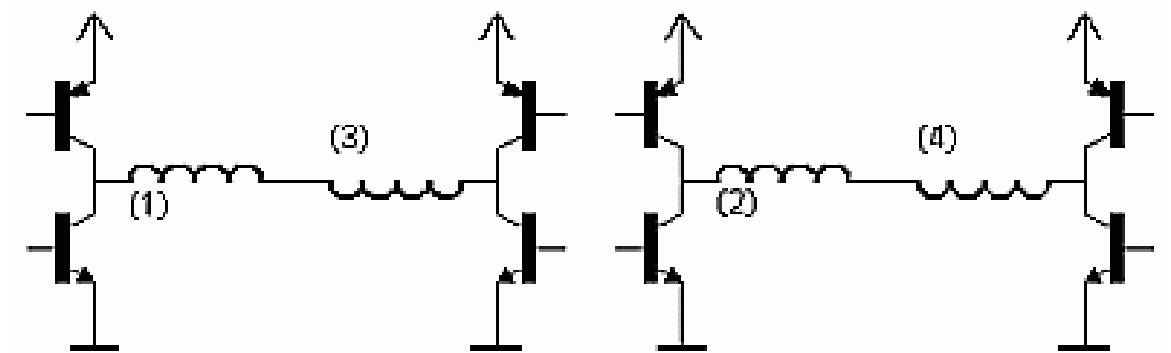
Výhodou tohoto řešení je, že není náročné na zapojení řídicí elektroniky a má nízký odběr. Nevýhodou se naopak stává nižší kroučící moment.



Obr. 4-1 Schéma unipolárního řízení krokového motoru [19]

#### 4.1.2.2 Bipolární provoz

Jde o řízení, kdy je každé vinutí na statoru tvořeno dvěma cívkami. Proud vždy prochází dvěma protilehlými cívkami. Každá cívka takto tvoří zdroj magnetického pole v jednom směru [17]. Výhodou je velký krouticí moment. Nicméně se to projeví na spotřebě. Pro řízení se použijí dva H-můstky, což bude mít za následek složitější zapojení.



Obr. 4-2 Schéma bipolárního řízení krokového motoru [19]

#### 4.1.3 Servomotor

Servomotory motory pro řízení nebo nastavování. Pomocí malé energie můžou ovládat např. otáčky velkého DC motoru [16]. Využívají se na otevírání rolet, ventilů, posuvných obráběcích strojů apod. Pole servomotoru je vytvořeno mezi dvěma nebo více trvalými magnety podle počtu pólů. Díky jeho momentové charakteristice je to jeden z nejpoužívanějších DC motorů do výkonu 1 kw [20]. Výhodou servopohonů je, že můžeme určit přesnou polohu natočení osy.

### 4.2 Aplikace pohonů v praxi

Již jsme si vyjmenovali a popsali několik typů motorů a nyní se tedy můžeme zaměřit na samotné řešení. Nyní se budeme věnovat konkrétnímu řešení pohonu.

#### 4.2.1 Lineární aktuátor

Jako velmi dobrou volbou se jeví použití lineárního aktuátoru. Jako pohon může využívat kterýkoliv z již zmiňovaných motorů, který má na hřídeli umístěnou planetovou převodovku s následným použitím šroubovice pro přenos lineárního pohybu.

Výhodou těchto aktuátorů je jejich vysoká síla v tahu a tlaku. Naopak nevýhodou pro použití na FV tracker je omezený pohyb a délka.



*Obr. 4-3 Lineární aktuátor [22]*

### 4.2.2 Slewing drive

Pohon obsahuje, stejně jako u lineárního aktuátoru převodovku zakončenou šnekovým převodem a ozubeným kolem. Rozdíl je ale ve vykonávaném pohybu. Zatímco lineární aktuátor přenáší lineární pohyb, slewing drive je založen na otočném pohybu.

Tyto pohony jsou vhodné tam, kde vyžadujeme jak pevné uchopení zátěže, tak velký točivý moment.

V praxi se dají aplikovat v mnoha různých odvětvích. Typicky se ale používají hlavně pro fotovoltaické trackery, větrné elektrárny, výtahy, hydraulické stroje nebo jeřáby [8].



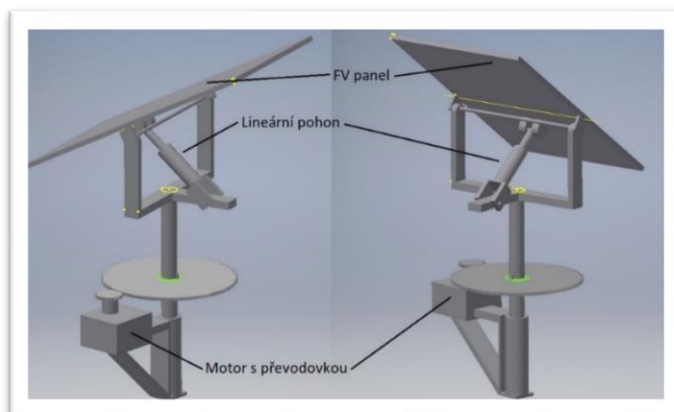
*Obr. 4-4 Slewing drive [8]*

## 4.3 Možnosti řešení

Před finálním řešením konstrukce byly vytvořeny dva zjednodušené návrhy v programu Autodesk Inventor pro lepší představu, jak by konečná verze mohla vypadat.

### 4.3.1 Návrh 1

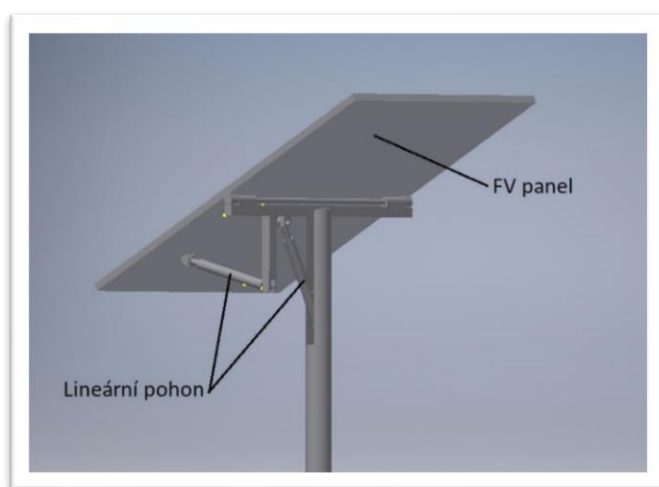
Úplně první myšlenka byla směřována směrem k použití pohonů na křídlové a posuvné brány. Výsledkem by bylo využití pohonu na posuvnou bránu pro horizontální pohyb přes převodovku. Pro vertikální pohyb by byl využit lineární pohon pro křídlové brány. Výhodou by byl fakt, že u těchto pohonů není třeba řešit žádné krytí IP nebo údržba, protože jsou v podstatě bezúdržbové a připravené přímo do venkovního prostředí. Naopak nevýhodou by mohla být údržba převodovky (mazání, nečistoty, apod.)



Obr. 4-5 Návrh č.1 – použití motoru a lineárního pohonu

### 4.3.2 Návrh 2

Jako druhá varianta byl vytvořen návrh natáčecího systému pomocí dvou lineárních pohonů. Výhodou oproti možnosti výše je tato varianta v podstatě bezúdržbová. Není třeba řešit žádné převodovky, či ozubená kola. Na problém můžeme narazit při návrhu umístění pohonů. Je nezbytné umístit pohony tak, aby byl zabezpečen dostatečný rozsah pohybu, jelikož není možné pohybovat do všech směrů a je nutné si dopředu rozmyslet, v jakém úhlu konstrukci uchytíme na pevnou podložku. Je nutné, aby v základní poloze, kdy je panel vodorovně, konstrukce směřovala směrem na jih stranou, na kterou se panel bude naklápět.



Obr. 4-6 Návrh č. 2 - použití dvou lineárních pohonů

### 4.3.3 Finální řešení

Po zhodnocení veškerých výhod a nevýhod bylo rozhodnuto, že jako předlohu pro finální řešení bude použit návrh č.2. Podle tohoto návrhu byla vytvořena konečná verze FV trackeru v programu Autodesk Inventor a byla vytvořena potřebná projektová dokumentace.



*Obr. 4-7 Konečný návrh FV trackeru – bez FV panelu*



*Obr. 4-8 Konečný návrh FV trackeru – s FV panelem*

## 4.4 Konstrukce

Protože cena lineárních aktuátorů byla vyšší, než byly zadané požadavky, byly místo lineárních aktuátorů použity pohony na křídlové brány. Podle třetí kapitoly byla zjištěna poloha slunce během celého roku.

Jako materiál je z převážné části zvolena pozinkovaná ocel, kvůli její pevnosti. Uchycení solárního panelu je řešeno hliníkovými úchyty.

Pro pohyb ve vertikální ose bylo navrženo navaření ocelové kulatiny přímo do nohy trackeru. Pro naklápění v ose horizontální byly navrženy dva panty. Do celé konstrukce byly potom zabudovány pohony pomocí dodávaných úchytlů.

Ze zdroje [23] bylo ověřeno, že použité materiály na sebe nemají nepříznivý vliv, a proto je do konstrukce můžeme použít společně, aniž by docházelo ke galvanické korozi.

Na spodní části pozinkovaného jeklu bude navařen čtvercový ocelový pás pro uchycení na střeche. Vše ošetřeno proti korozi.

### 4.4.1 Uchycení konstrukce na střeche

Jak bylo napsáno v předchozím odstavci, na spodní části hlavního jeklu 80x40x4mm je přivařený čtvercový ocelový pás o velikosti 150x150x10mm. Základna je na jekl navařená takovým způsobem, aby byl tracker v požadovaném směru.

Toto řešení bylo zvoleno z důvodu, že na střeše budovy T12 jsou připravené čtvercové pásy o velikosti 150x150x10mm, které mají v rozích 4 díry na šrouby, na které je možnost konstrukci jednoduše upevnit.

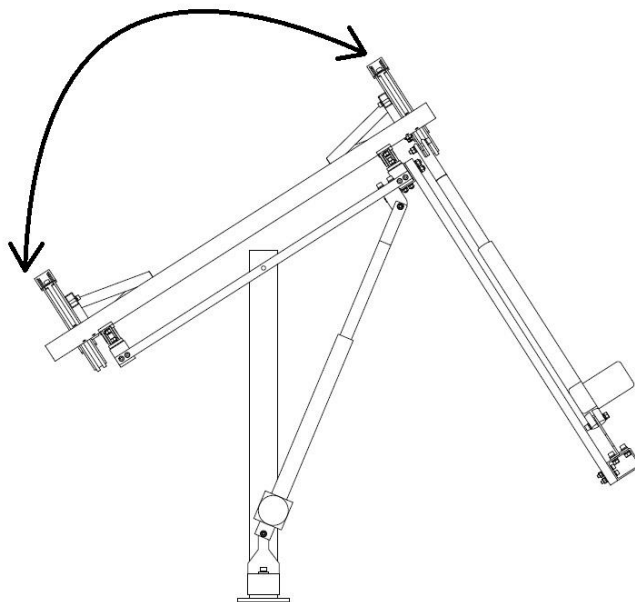


*Obr. 4-9 Uchycení konstrukce na střeše*



#### 4.4.2 Naklápění ve vertikální ose

Na *obr. 4-10* můžeme vidět finální návrh naklápění vertikálním směrem. Je to první část konstrukce, která bude uchycena na pevném podstavci a na této části potom bude připevněna další část pro pohyb horizontální.



*Obr. 4-10 Vertikální pohyb – pohled z boku*

Naklápění ve vertikální ose je provedeno pomocí ocelové kulatiny navažené přímo v podstavci konstrukce. Provedení lze vidět na obrázcích níže. Z jedné strany podstavce je potom uchycení pro pohon č.1. Na druhé straně je pohon uchycen přímo na naklápěné části.

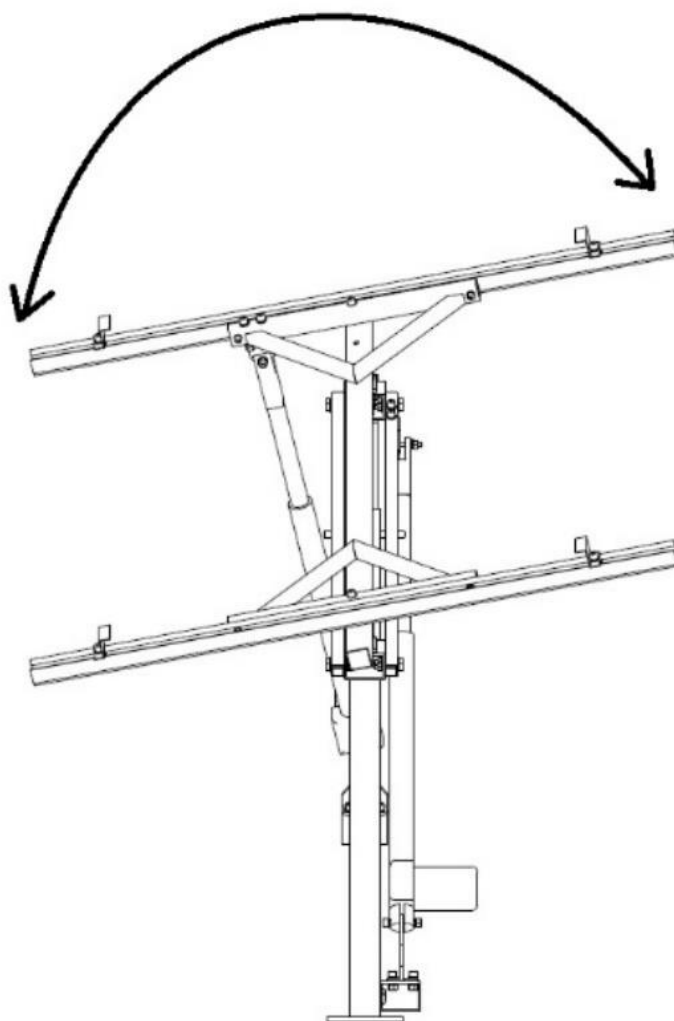


*Obr. 4-11 Pant pro pohyb v ose*

### 4.4.3 Naklápění v horizontální ose

Horizontální pohyb bude zajištěn podobně jako pohyb vertikální. Rozdíl nastává v tom, že musí být zajištěn větší rozsah polohovacích úhlů.

Pohon je umístěn tak, že jedna strana je uchycena na vertikální pohyblivé části a druhá strana je uchycena přímo na nosné konstrukci panelu, což zajišťuje, že si pohony v rozdílných směrech nemůžou navzájem zabraňovat v pohybu.



*Obr. 4-12 Horizontální pohyb – pohled zepředu*

Samotná konstrukce FV panelu s konstrukcí zajišťující azimutální pohyb je spojena pomocí pantů. Tento způsob je vhodný, protože tyto panty nejsou z korozního materiálu, mají malé rozměry, jednoduše se uchytí do konstrukce a zároveň mají dostatečnou nosnost. Jsou použity dva kusy.

Pro propojení pohybů bylo nutné dostatečné pevnosti konstrukce. Proto byl centrální jekl zpevněn několika menšími jekly, navařenými do trojúhelníku, na kterých jsou potom přišroubovány hliníkové úchyty přímo pro solární panely.



#### 4.4.4 Uchycení pohonů

Pro uchycení obou pohonů byly využity příchytky dodávané přímo s pohony a zároveň bylo použito dvou kusů jelek o stejných rozměrech, jako nosná část samotné konstrukce 80x40x4mm. Uchycení obou pohonů můžeme vidět na *obr. 4-13* a *obr. 4-14*.



*Obr. 4-13 Uchycení pohonu č.1*



*Obr. 4-14 Uchycení pohonu č.2*

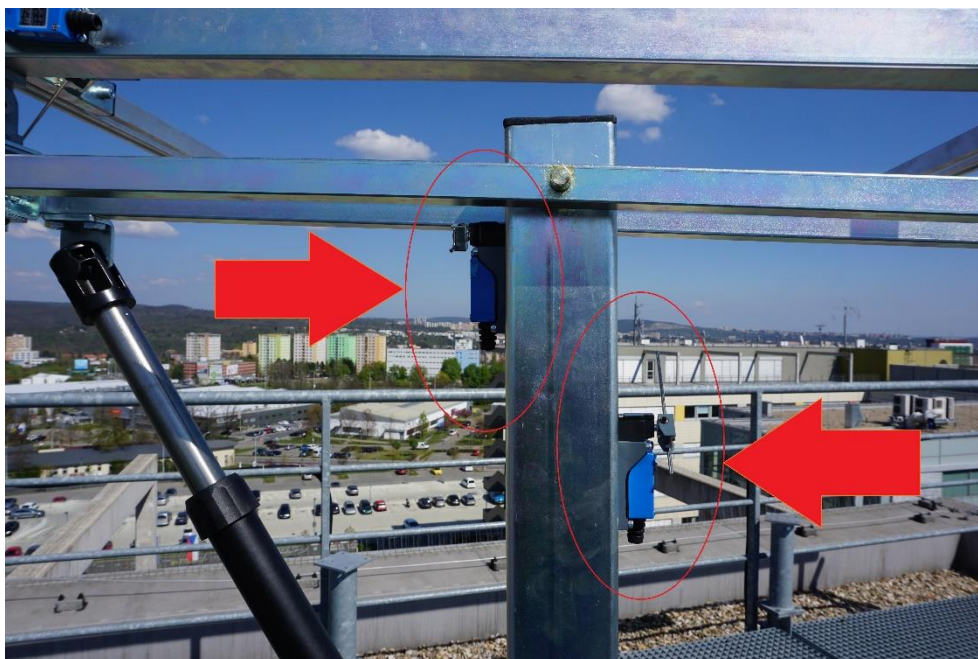
#### 4.4.5 Uchycení FV panelu

Samotný FV panel je z polykrystalických článků spojených do sebe. Aby bylo možné uchytnit panel například na střeše, je kolem článků hliníkový rám. FV panel je potom uchycený na konstrukci pomocí hliníkových úchytů, což můžeme vidět na *obr. 4-8*.

#### 4.4.6 Koncové spínače

Aby nedošlo k mechanickému poškození konstrukce vlivem nesprávného zacházení, je nezbytné, aby systém obsahoval bezpečnostní prvky. Takovým bezpečnostním prvkem jsou zde čtyři koncové spínače, zajišťující zastavení pohybu, pokud by se měl jeden z pohonů dostat do polohy, kdy dojde k mechanickému poškození. Každý koncový spínač jistí jeden směr pohybu.

Jako další bezpečnostní prvek je zde STOP tlačítko, které po stisku odpojí celý systém od napájení. Podrobněji bude tato problematika řešena v následující kapitole, která se zabývá elektrickou částí systému.



*Obr. 4-15 Umístění koncových spínačů č. 1 a 2*



*Obr. 4-16 Umístění koncových spínačů č. 3 a 4*

## 4.5 Sestavení konstrukce

Samotné sestavení spočívalo nejdříve v nákupu potřebného materiálu viz. kapitola „Ekonomické zhodnocení“ a následně na dílně probíhaly práce, jako řezání potřebných délek jeleků, vrtání děr, závitů apod. Proběhlo sestavení celé konstrukce v dílně. Po doladění veškerých detailů a drobností byl na konstrukci upevněn FV panel a za pomoci laboratorního zdroje byl proveden první test funkčnosti.





*Obr. 4-17 První fáze sestavení bez uchycení pro FV panel*

Po základním testu byly doladěny poslední nevyhovující drobnosti a tracker byl přenesen na střechu a upevněn na místo. Proběhl finální test funkčnosti před galvanizací. Následně byla celá konstrukce rozebrána a odvezena do galvanovny k vnějšímu ošetření proti korozi.



*Obr. 4-18 Testování na budoucí pozici před galvanizací*

Po ošetření konstrukce proti korozi stříbrným zinkem proběhlo konečné sestavení přímo na střeše budovy T12. Zároveň byla připravena kabelová trasa k rozvaděči a následně k samotnému trackeru. Kabeláž byla nainstalována na konstrukci a vodiče byly rozvedeny k jednotlivým komponentám (pohonům a koncovým spínačům). Pro lepší viditelnost konstrukce a bezpečnost osob během pohybu po střeše byly konce konstrukce označeny oranžovým sprejem.



*Obr. 4-19 Konstrukce s připravenou kabeláží*

## 5 ELEKTRICKÁ ČÁST

Obsahem práce je také elektrická část, pomocí které bude možno ručně nastavovat požadovanou polohu. Zároveň elektrická část obsahuje bezpečnostní prvky, pro nouzové odpojení od napájení při poruše, případně servisu.

### 5.1 Výkresová dokumentace

Byla zhotovena výkresová dokumentace pro ovládání systému. Navrženo bylo ovládání pomocí čtyř podsvětlených tlačítek. Dvě pro ovládání pohonu č.1 a další dvě pro ovládání pohonu č.2. V každém momentu svítí pouze ty tlačítka směrů, ve kterých je možný posuv pohonů, které nesvítí, nereaguje na stisk. V silové části jsou potom použity čtyři relé pro ovládání a vzájemnou blokadu směrů pohonů. Výkresy obsahují také čtyři koncové spínače a stop tlačítko, zajišťující bezpečný provoz systému. Koncové spínače zamezují mechanickému poškození. Jsou instalovány ve čtyřech koncových polohách a v momentu sepnutí odpojí daný pohon od napájení. V případě nebezpečí nebo servisu je možnost pomocí stop tlačítka odpojit celý systém od napájení. Celý systém pracuje na 24 VDC.

Dále byla zhotovena druhá varianta, obsahující PWM regulátor pro plynulý posun pohonů, nicméně pohony se posouvají velmi malou rychlostí, konkrétně 19 mm/sec, a PWM regulátor není třeba, proto byl v práci použit první návrh.

Ve výkresové dokumentaci není zahrnut zdroj pro pohony a rozvaděč, z důvodu použití stávajícího stejnosměrného zdroje.

Veškerá výkresová dokumentace je k nalezení v přílohách.

### 5.2 Zhotovení rozvaděče

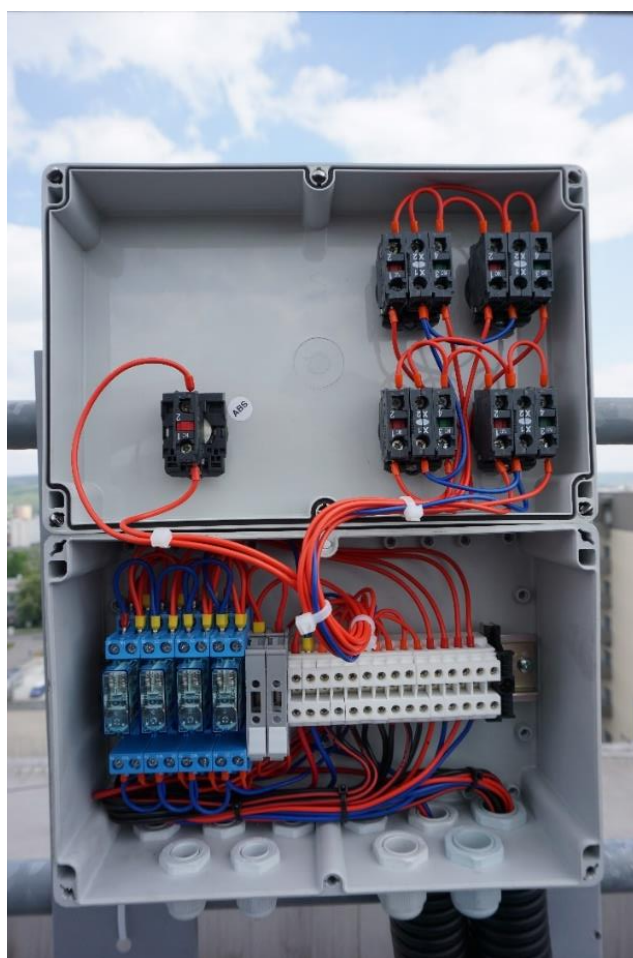
Podle výkresů byly zakoupeny komponenty a následně zhotoven rozvaděč, který byl umístěn na zábradlí, několik metrů od samotného FV trackeru, tak aby při ovládání obsluha na tracker viděla a měla přehled v jaké poloze se nachází. Pro přehlednost byly nad jednotlivá tlačítka přidány popisy.

Uprostřed instalační krabice byla umístěna DIN lišta, na kterou byly usazeny prvky ovládání – paticová relé, svorkové pojistkové odpojovače a svorky. Tlačítka byla usazena do vyvrtaných děr na kryt instalační krabice. Rozložení jednotlivých prvků můžeme vidět ve výkresových přílohách nebo na *obr. 5-1* a *obr. 5-2*.





*Obr. 5-1 Rozvaděč – ovládání*



*Obr. 5-2 Rozvaděč – vnitřní část*

## 6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Prvotním cílem bylo, dostat se s cenou FV trackeru s ovládáním bez FV panelu pod částku 20 000Kč. Proto byly sečteny všechny náklady a zhodnocena konečná cena.

### 6.1 Mechanické části konstrukce

Výše došlo k ověření, jaké materiály můžeme společně využít, aby nedošlo k nechtěné reakci mezi nimi [26]. Převážná část konstrukce je tvořena ocelovými jekly. Spojovací materiál je z pozinkované oceli.

V první *tab. 6-1* vidíme seznam veškerého drobného materiálu. Všechny ocelové jekly byly uzavřeny pomocí plastových krytek, které v této tabulce také můžeme nalézt. V poslední části tabulky je cena za panty. V druhé *tab. 6-2* se nachází soupis hutního materiálu.

*Tab. 6-1 Soupis drobného materiálu*

<b>DROBNÝ MATERIÁL</b>						
<b>Položka</b>	<b>Průměr</b>	<b>Délka</b>	<b>Hlava</b>	<b>Cena s DPH</b>	<b>Počet</b>	<b>Celkem</b>
		<b>[mm]</b>		<b>[Kč]</b>	<b>[ks]</b>	<b>[Kč]</b>
šroub	M8	50	válcová	3,70	8	29,60
šroub	M8	60	válcová	4,01	8	32,08
šroub	M8	25	šestihran	1,85	4	7,40
šroub	M10	25	válcová	3,91	10	39,10
šroub	M10	30	šestihran	2,67	1	2,67
šroub	M10	50	šestihran	4,11	1	4,11
šroub	M10	50	válcová	5,45	8	43,60
šroub	M10	60	válcová	6,58	2	13,16
šroub	M12	20	půlkulatá	5,25	3	15,75
šroub	M12	60	šestihran	12,44	4	49,76
šroub	M4	16	válcová	0,62	4	2,48
šroub	M4	30	válcová	0,82	4	3,28
matice	M8	-	-	0,49	20	9,80
matice	M10	-	-	2,16	22	47,52
matice	M12	-	-	2,37	7	16,59
matice	M4	-	-	0,22	8	1,76
podložka	M8	-	-	0,53	40	21,20
podložka	M10	-	-	0,80	44	35,20
podložka	M12	-	-	1,95	4	7,80
podložka pružná	M8	-	-	0,25	40	10,00
podložka pružná	M10	-	-	0,39	44	17,16
podložka pružná	M12	-	-	0,56	7	3,92
krytka	25x25	-	-	1,77	10	17,70
krytka	45x45	-	-	8,08	3	24,24
krytka	40x25	-	-	7,05	4	28,20
krytka	80x60	-	-	24,24	1	24,24
pant	-	-	-	671	2	1342,00
<b>CELKEM</b>						<b>1457,46</b>

Tab. 6-2 Soupis hutního materiálu

<b>HUTNÍ MATERIÁL</b>						
<b>Položka</b>	<b>Tvar</b>	<b>Rozměry</b>	<b>Materiál</b>	<b>Cena s DPH/kg</b>	<b>Délka</b>	<b>Celkem</b>
-	-	[mm]	-	[Kč]	[m]	[Kč]
jakl	obdelníkový	80x60x4	ocel	26,62	1,3	294,15
jakl	čtvercový	25x25x2	ocel	32,55	5,8	271,86
jakl	čtvercový	45x45x2	ocel	28,92	1,3	101,51
jakl	obdelníkový	40x25x2	ocel	31,34	1	57,67
pásovina	plochá	150x10	ocel	25,29	0,15	44,76
profil	solar	40x40	hliník	130	2,6	354,56
kulatina	válcová	d12	ocel	26,02	0,5	11,58
<b>CELKEM</b>						<b>1136,09</b>

## 6.2 Rozvaděč

Tab. 6-3 Soupis materiálů použitých pro elektrickou část

<b>ROZVADĚČ</b>			
<b>Položka</b>	<b>Cena s DPH</b>	<b>Množství</b>	<b>Celkem</b>
-	[Kč]	[ks]	[Kč]
instalační krabice	360,57	1	360,57
koncový spínač	199,00	4	796,00
patice pro relé	123,00	4	492,00
relé	98,00	4	392,00
hlavice stiskací prosvětlená	534,44	4	2137,76
hlavice stiskací STOP	374,19	1	374,19
svorka řadová pojistková	93,35	2	186,70
pojistka trubičková 8A	6,84	1	6,84
pojistka trubičková 1A	6,26	1	6,26
svorka řadová	12,58	15	188,70
přístrojová lišta (2m)	84,97	1	84,97
kabelová průchodka PG13,5	8,60	2	17,20
kabelová průchodka PG11	7,70	2	15,40
kabelová průchodka PG9	7,20	6	43,20
spínaný zdroj 24V, 240W	1349,00	1	1349,00
<b>CELKEM</b>			<b>6450,79</b>
<b>Vodiče</b>	<b>Cena s DPH/m</b>	<b>Délka</b>	<b>Celkem</b>
-	[Kč]	[m]	[Kč]
CYA 0,5 tmavě modrá	3,25	2	6,50
CYA 1 tmavě modrá	5,46	2	10,92
CYA 0,5 rudá	3,25	2	6,50
CYA 1 rudá	5,46	2	10,92
<b>CELKEM</b>			<b>34,84</b>



## 6.3 Pohony

V kapitole o volbě vhodného pohonu bylo řečeno, že pro účely této práce je nejvhodnější použití lineárního aktuátoru.

V první řadě byl podán dotaz několika firmám, které se zabývají výrobou lineárních aktuátorů. Konkrétně se jednalo o firmy Raveo s.r.o. a BIBUS s.r.o. Bohužel se ukázalo, že tyto pohony se cenově pohybují velmi vysoko viz. *tab. 6-4* a bude třeba zvolit jiný, levnější pohon – v prvním řádku tabulky můžeme vidět pohon CON35, který tato firma nabízí.

Další možností byly internetové e-shopy. Nejlépe se jevily produkty od distributora Transmotec (druhý řádek tabulky), ale bohužel cena byla stále vysoká [22].

Nakonec, po konzultaci s vedoucím práce, bylo rozhodnuto, že není třeba přesnosti v posuvech, jakou nabízí lineární aktuátory, a proto bude dostačující použití pohonů křídlových bran, které disponují nižší cenou. Ve třetím a čtvrtém řádku *tab. 6-4* jsou dva tyto pohony z internetových e-shopů pohonnavrata.cz a pohonservis.cz [28].

Jak můžeme vidět, cena pohonů na brány se pohybuje kolem jedné poloviny ceny lineárních aktuátorů s podobnými vlastnostmi. Je však pravdou, že aktuátory jsou přesnější při řízení a také často obsahují čidlo polohy, které v našem případě je velkou výhodou a pohony na brány ho nemají. Cena je ovšem o tolik vyšší, že bude výhodnější čidlo polohy vyrobit vlastní silou.

Možností, jak čidlo polohy pohonu může vypadat je zcela jistě celá řada. Je možné použít jednoduchý dálkoměr umístěný na jedné straně pohonu, který bude měřit oddálení při výsuvu. Případně použít čidlo počítání zubů motoru, kdy by se na posuvnou část motoru uchytil plíšek s výstupky, které by čidlo zaznamenalo nebo je zde možnost využití gyroskopu, díky kterému bude řídicí jednotka schopna vyhodnotit aktuální pozici naklonění celé konstrukce.

Pohon použitý v návrhu je s označením TURN224 a jeho parametry můžeme vidět v posledním řádku *tab. 6-4*, je označen zelenou barvou [29]. Výhodou použitého pohonu je fakt, že není nutné řešit aretaci.

*Tab. 6-4 Parametry některých typů lineárních pohonů*

název	výkon [W]	napájení [V]	síla [N]	zdvih [mm]	cena s DPH [Kč]
DLA-24-40-A-300	36	24	2300	300	8203
CON35	36	24	2200	750	9541
PKM C02-2	60	12	3000	390	4745
Turn 224	70	24	1500	400	4890

## 6.4 Celkové zhodnocení nákladů

V tab. 6-5 je vidět celkový součet veškerých finančních nákladů na FV tracker. Celková částka překročila 20 000 Kč. Je ale nutno konstatovat, že některé náklady jsou zde připočtené navíc a při samotné realizaci nebylo třeba materiál nebo součásti zakoupit. Jsou to DC zdroj, kde bylo použito stávajícího. Veškerý spojovací materiál, který už byl k dispozici a některé části rozvaděče, jako jsou například podsvětlená tlačítka, která tvoří v seznamu poměrně nákladnou položku. V budoucnu mohou náklady růst v závislosti na dalších pracích prováděných na konstrukci a elektrické části. Je zde možnost dokoupit některé prvky, které budou nezbytné k automatickému polohování trackeru a případným měřením, jako je řídicí jednotka, čidla polohy pohonů, čidlo slunečního svitu a případné další součásti. Tyto položky však již nebudou finančně náročné, jako byla celá konstrukce, kde nejdražší položku tvořily dva pohony. Cena také nezahrnuje samotný fotovoltaický panel.

Tab. 6-5 Celkové zhodnocení nákladů

CELKOVÉ ZHODNOCENÍ	
Položka	cena s DPH
-	[Kč]
spojovací materiál	413,94
konstrukce	2544,27
rozvaděč	6485,63
pohony	9780,00
galvanizace	1452,00
<b>CELKEM</b>	<b>20675,84</b>

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout konstrukční řešení umožňující dvouosé sledování polohy Slunce pro fotovoltaický panel a následně tuto konstrukci sestavit.

V první části proběhlo uvedení do problematiky fotovoltaických systémů a celkové výroby elektrické energie pomocí obnovitelných zdrojů. Byly popsány a vysvětleny principy jednotlivých typů solárních a fotovoltaických panelů. Následně došlo ke zhodnocení výhod a nevýhod pevných, jednoosých, dvouosých a dalších typů sledovačů slunce. Na závěr byl v této kapitole popsán rozdíl mezi aktivními a pasivními trackery.

Další část se věnovala výpočtu polohy Slunce, což patří k nedílné součásti práce a vzhledem k nejrůznějším změnám během let, ale i ročních období je nutné použít kvalitní algoritmus, který eliminuje chyby ve výpočtu. Nejlépe se podle dostupných zdrojů osvědčil dnes nejčastěji používaný algoritmus NREL. V programu Microsoft Excel byly potom provedeny potřebné výpočty polohy slunce.

Dále byl proveden výpočet namáhání větrem. K výpočtu byla použita příručka k normě ČSN EN 1991-1-4 pro navrhování konstrukcí pro zatížení větrem. Byla vypočtena síla pro nejhorší podmínky. Následně bylo z této síly vypočteno namáhání a byl stanoven koeficient bezpečnosti, díky kterému došlo k ověření dostatečné pevnosti zvolených materiálů.

Další kapitola se zabývala samotným návrhem konstrukce v programu Autodesk Inventor. Nejdříve byly popsány tři typy pohonů, které jsou nejvhodnější pro požadované použití – DC motor, krokový motor a servopohon. Jako další se tato kapitola zabývala popisem jednotlivých částí konstrukce. Byly zde popsány principy horizontálního a vertikálního pohybu konstrukce pomocí lineárních pohonů. Konec kapitoly obsahoval postup při sestavování samotné konstrukce.

Předposlední kapitola se věnovala elektrické části FV trackeru. Byly připraveny a navrženy dvě možnosti ovládání, z nichž jedna obsahovala PWM regulátor, kterého se ale nakonec nevyužilo.

Poslední kapitola se následně zabývá celkovým sečtením nákladů. Součet ceny všech použitých komponent překročil dvacet tisíc korun, což sice nesplnilo původní cíl, udržet cenu do 20 000 Kč, nicméně finální cena přesáhla tuto částku o 676 Kč, což je v přijatelné mezi. V budoucnu ale musíme uvažovat nárůst ceny, jelikož tato práce neřeší automatizační část. Řeší pouze konstrukci, ovládání pomocí tlačítek a není zde uvažovaná cena za případnou řídicí jednotku a čidla polohy. Nákladnou položku představují použité panty. Je tedy možné uvažovat o použití pantů na křídlové brány, které jsou několikanásobně levnější. Nicméně provedení by vyžadovalo jisté změny.

FV tracker je zcela funkční při ovládání pomocí tlačítek a je možnost přidat řízení, pro sledování polohy Slunce, ať už pomocí výpočtu nebo pomocí čidla slunečního záření. V budoucnu se zde naskytuje možnost využít tracker na různá měření, případně použít na laboratorní úlohu. Jako další, jak už bylo řečeno výše, je zde možnost přidání řídicí jednotky, čidla slunečního svitu a využít tracker na další bakalářskou, případně diplomovou práci.



# Použitá literatura

- [1] *Pozorování Slunce: informace a aktuality o Slunci, sluneční aktivitě a pozorování* [online]. Valašské Meziříčí: příspěvková organizace Zlínského kraje, 2013 [cit. 2017-10-20]. Dostupné z: <http://pozorovanislunce.eu/>
- [2] *TZB-info: stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 2001, 2017 [cit. 2017-10-20]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/>
- [3] Solární energie.info: Informační portál o solární energii a jejím využití. *Solární energie.info: Informační portál o solární energii a jejím využití* [online]. 2007 [cit. 2017-10-22]. Dostupné z: <http://www.solarni-energie.info/>
- [4] *Stavcentrum* [online]. Praha 4, 2004 [cit. 2017-10-22]. Dostupné z: <http://www.stavcentrum.cz/>
- [5] Solární vytápění kapalinové: Sluneční kolektory. *Instalatéři EKOMPLEX* [online]. Ostrava: Ekomplex marketing, 2017 [cit. 2017-10-22]. Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/solarni-vytapeni/kapalinove.php>
- [6] Princip fotovoltaiky: Fotoelektrický jev. *SOLARTEC* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: SOLARTEC HOLDING, 2016 [cit. 2017-10-22]. Dostupné z: <http://www.solartec.cz/rodinne-domy-a-strechy/fotovoltaika/princip-fotovoltaiky>
- [7] TEMPLE, Kit. Solar tracker. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2017 [cit. 2017-10-25]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_tracker](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker)
- [8] INSTALACE FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ NA ŠIKMOU STŘECHU. *ABS-portal: odborný stavební portál* [online]. Praha 10: JAGA GROUP, s. r. o, 2013, 21.09.2009 [cit. 2017-11-2]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strechy/instalace-fotovoltaickych-panelu-na-sikmou-strechu>
- [9] FVP na pálené tašce. In: *SunWave: Slunce vám účet nepošle* [online]. Praha 4: MATCOMP, 2014 [cit. 2017-11-5]. Dostupné z: <http://www.sunwave.cz/konstrukce/konstrukce-pro-sikme-strechy>
- [10] Technologie spojující slunce, sůl a sklo jako budoucnost energetiky. *OENERGETICE.CZ* [online]. 2015, 9.6.2016 [cit. 2017-11-5]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/technologie-spojuci-slunce-sul-sklo-jako-budoucnost-energetiky/>

- [11] Nejúčinnější solární systém na světě? *OENERGETICE.CZ* [online]. 2015, 10.7.2015 [cit. 2017-11-5]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/elektrina/nejucinnejsi-solarni-system-na-svete/>
- [12] SLUNEČNÍ KALKULAČKA. *MichalBalada.com* [online]. Michal Balada, 2008 [cit. 2017-12-5]. Dostupné z: <http://www.michalbalada.com/krajinarska-fotografie/clanek-slunecni-kalkulacka/44/>
- [13] REDA, Ibrahim a Afshin ANDREAS. *Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications*. 1nd. ed. Springfield: National Technical Information Service, 2008. ISBN 978-12-49155-2-01.
- [14] KRÁL, Jaromír. Navrhování konstrukcí na zatížení větrem: příručka k ČSN EN 1991-1-4. <span class=. Praha: Pro Ministerstvo pro místní rozvoj a Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydalo Informační centrum ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87438-05-3.
- [16] TKOTZ, Klaus. *Příručka pro elektrotechnika*. Praha: Europa-Sobotáles, 2002. ISBN 80-867-0600-1.
- [17] Krokový motor - princip. *Mylms* [online]. mylms.cz, 2006 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/text-krokovy-motor-princip/>
- [18] Krokové motory: princip funkce, metody řízení. *Robotika.cz* [online]. Kamil Řezáč, 2004, 2002 [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [19] Metody řízení krokových motorů. In: *Robotika.cz* [online]. webmaster -at- robotika.cz, 2004 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <https://robotika.cz/articles/steppers/cs>
- [20] Základní informace o servo technologii. *Pohonnatechnika.cz* [online]. Pohonnatechnika.cz, 2007 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/servo>
- [21] PETROV, G.N. Elektrické stroje 2: Asynchronní stroje-synchronní stroje. Praha: Academia, 1982, 728 s
- [22] Aktuátor série DMA s kuličkovým šroubem. In: *Transmotec* [online]. Brno: Ing. Jiří Gross, 2008 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.transmotec.cz/linearni-aktuatory/dma-kulicovy-zavit.html>
- [23] Vzájemná snášlivost kovů. *Coleman S.I.* [online]. Vsetín: Programia, 1999 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.coleman.cz/vzajemna-snasenlivost-kovu-koroze-okapy/>

- [24] Jekl 80x40x5. *KONDOR: Hutní materiály* [online]. Praha 5: KONDOR, 1999 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://www.kondor.cz/jekl-80x40x5/d-82260/>
- [25] *E-hlinik.cz: Váš hliníkový obchod* [online]. Pardubice: AZ Computers [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://www.ehlinik.cz/>
- [26] *Spojovací-materiál.net* [online]. Hrušovany nad Jev.: Prumex, 2013 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/>
- [27] *KOVOPOLOTOVARY.CZ: Svět nerez , bran, pohonů a kovaných polotovarů* [online]. Karlovy Vary: STUDIO H+H, 2008 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <https://www.kovopolotovary.cz/>
- [28] Pohon pro dvoukřídlá vrata PKM C02-2. *Pohon na vrata.cz* [online]. Nový Jičín: Golemos, 2015 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.pohonnnavrata.cz/Pohon-pro-dvoukridla-vrata-PKM-C02-2-d9.htm>
- [29] Detail-430: TURN 224. *Pohon Servis: POHONY PRO GARÁŽOVÁ VRATA, BRÁNY, ZÁVORY, DOPLŇKY* [online]. Brno: POHON SERVIS, 2006 [cit. 2017-12-27]. Dostupné z: <http://www.pohonservis.cz/pohony-kridlovych-bran-primocare/detail-430/#>
- [30] ŽÁK, Martin. Solární koncentrátorový systém s automatickým natáčením. Brno, 2017, 131 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce Petr Baxant.
- [31] KRUTIŠ, Petr. Na britský trh byl uveden první oboustranný solární panel. *OEnergetice.cz* [online]. Třebíč: OM Solutions, 2014, 15.5.2016 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/na-britsky-trh-byl-uvaden-prvni-oboustranny-solarni-panel>
- [32] Technické výpočty. *Ekonstrukter.cz* [online]. Praha: Petr Filip, 2013 [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/technicke-vypocty/14-kvadraticky-moment-a-modul-prurezu-v-ohybu/104-kvadraticky-moment-prurezu-jaklu>
- [33] ŠČERBOVÁ, M. a V. PAVELKA. Namáhání na ohyb. Střední průmyslová škola, Ostrava - Vítkovice, příspěvková organizace [online]. Ostrava: Moravskoslezský kraj, 12.5.2013 [cit.2019-05-13]. Dostupné z: [https://www.spsengrova.cz/texty/texty/MEC/15\\_MEC\\_NAMAHANI\\_NA\\_OHYB\\_2\\_ROCNIK\\_1\\_CAST-UT.pdf](https://www.spsengrova.cz/texty/texty/MEC/15_MEC_NAMAHANI_NA_OHYB_2_ROCNIK_1_CAST-UT.pdf)
- [34] Síla pružnosti, normálové napětí. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. J. Reichl, M. Všeticka, 2019 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/630-sila-pruznosti-normalove-napeti>

- [35] DRASTÍK A KOLEKTIV, František. Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu [online]. Druhé doplněné vydání. Ostrava: MONTANEX, 1995 [cit. 2019-05-14]. ISBN 80-85780-95-X. Dostupné z: <http://www.gorkzy.cz/wp-content/uploads/2017/12/Strojnick%C3%A9-tabulky.pdf>
- [36] Energetika ve světě. Skupina ČEZ [online]. Praha 4: ČEZ, 2019 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/pro-media/cisla-a-statistiky/energetika-ve-svete.html>
- [37] ADÁMKOVÁ, Adéla. Svět sází na obnovitelné zdroje, Česko na jádro. Hospodářské noviny [online]. Economia, 2019, 24.4.2019 [cit. 2019-05-15]. ISSN 1213-7693. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-66555600-svet-sazi-na-obnovitelne-zdroje-cesko-na-jadro>



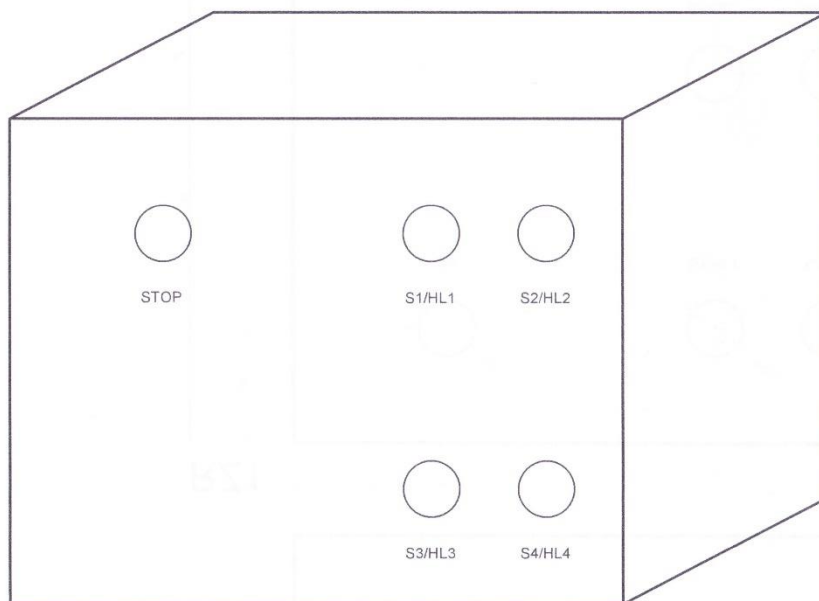
# Seznam příloh

## A Výkresové přílohy

- Výkresová dokumentace ovládací elektrické části + PWM regulátor
- DC pohon
- FV panel
- Horní nosná část
- Nosná část
- Pohybová část1-1
- Pohybová část1-2-pohon
- Pohybová část2-1
- Příchyt pohonu 1 ke konstrukci
- Příchyt pohonu 2 ke konstrukci
- Příchyt pohonu 2 ke konstrukci (2)
- SOLAR úchyt1-1
- SOLAR úchyt2
- Úchyt pro pohon1
- Úchyt pro pohon2
- TRACKER – skutečný stav – výkres vertikální pohyb
- TRACKER – skutečný stav – výkres horizontální pohyb

## B Obsah přiloženého CD

- Bakalářská práce (PDF)
- Výpočet polohy slunce
- Veškerá výkresová dokumentace (PDF, IDW)

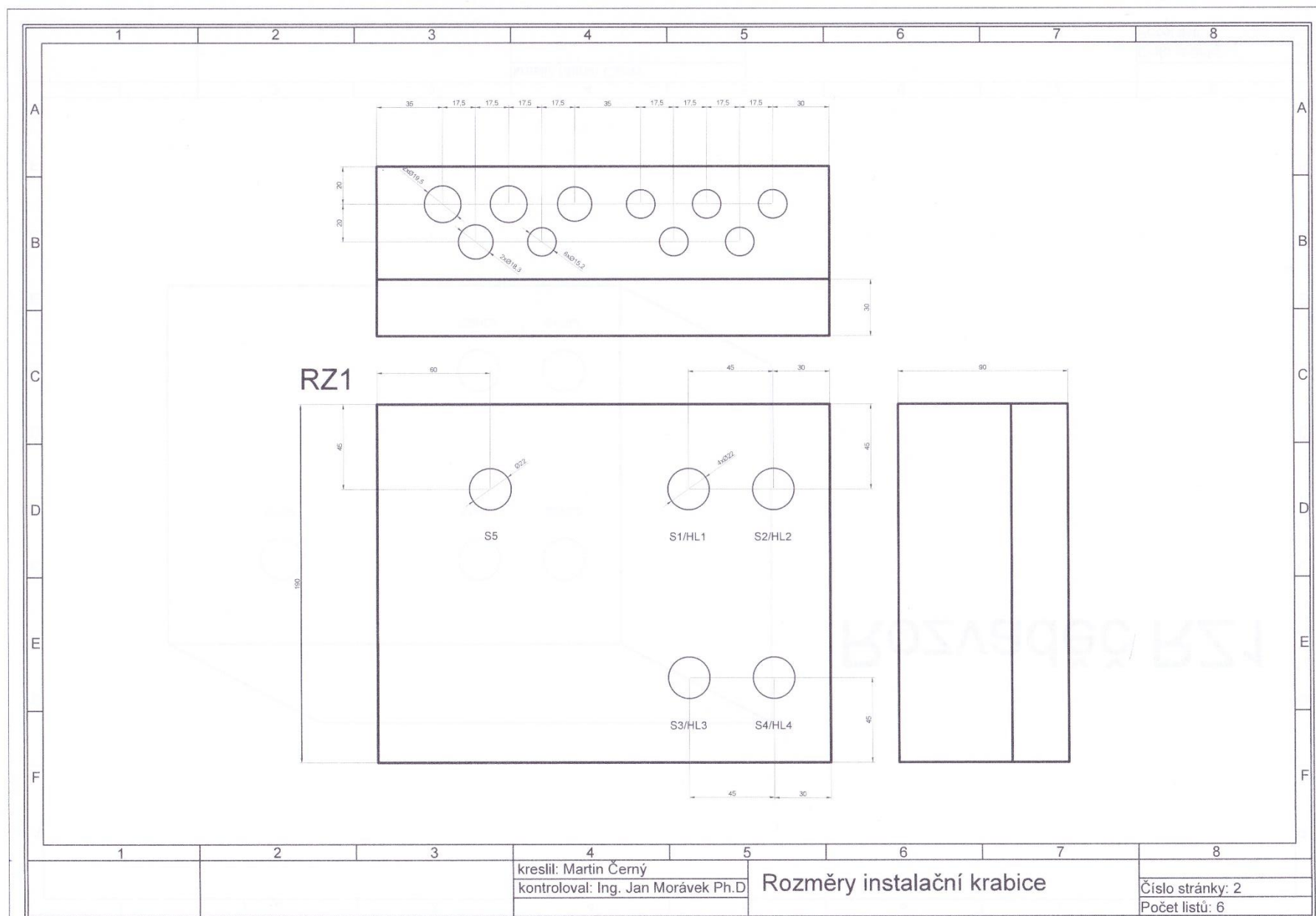


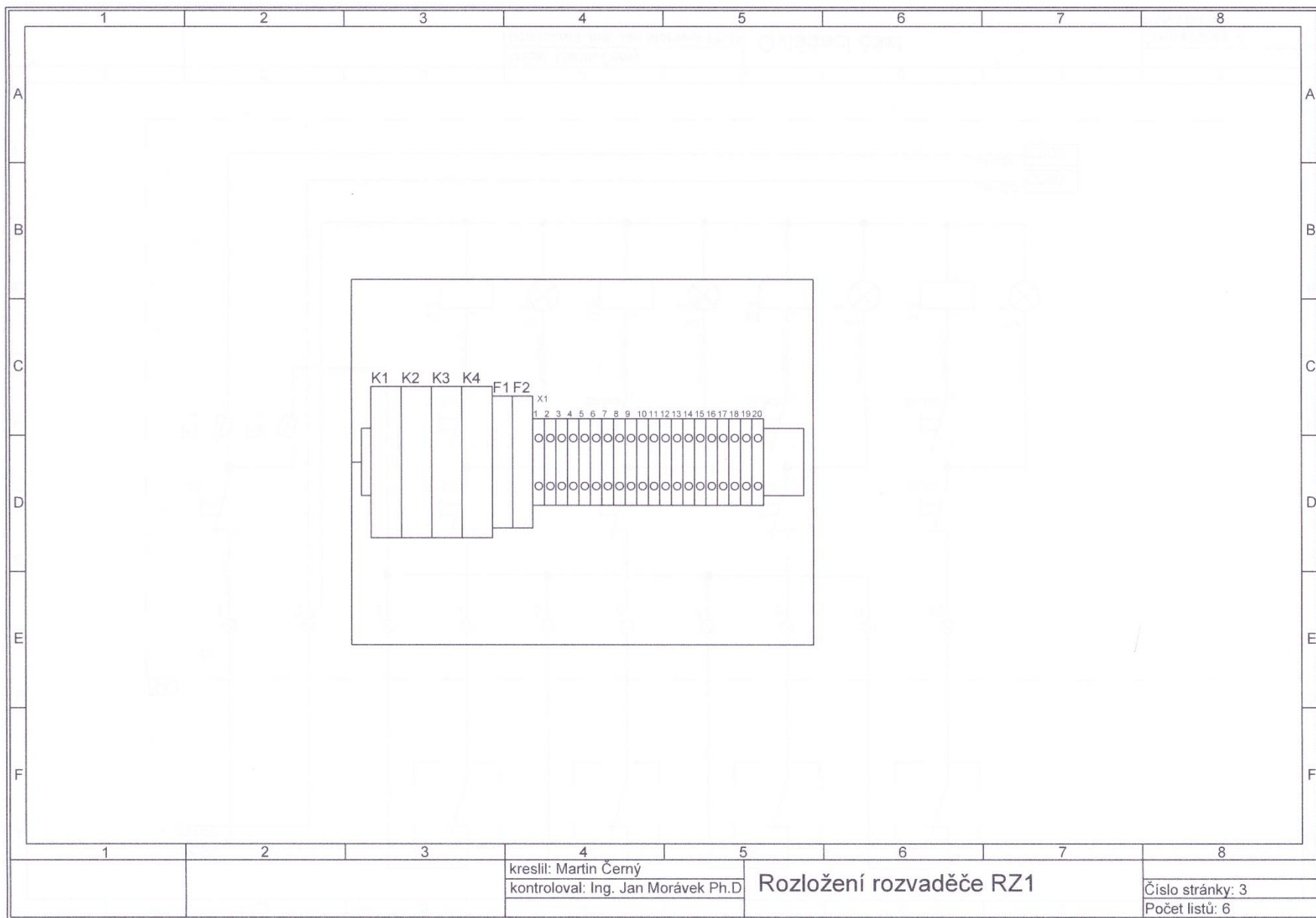
# Rozvaděč RZ1

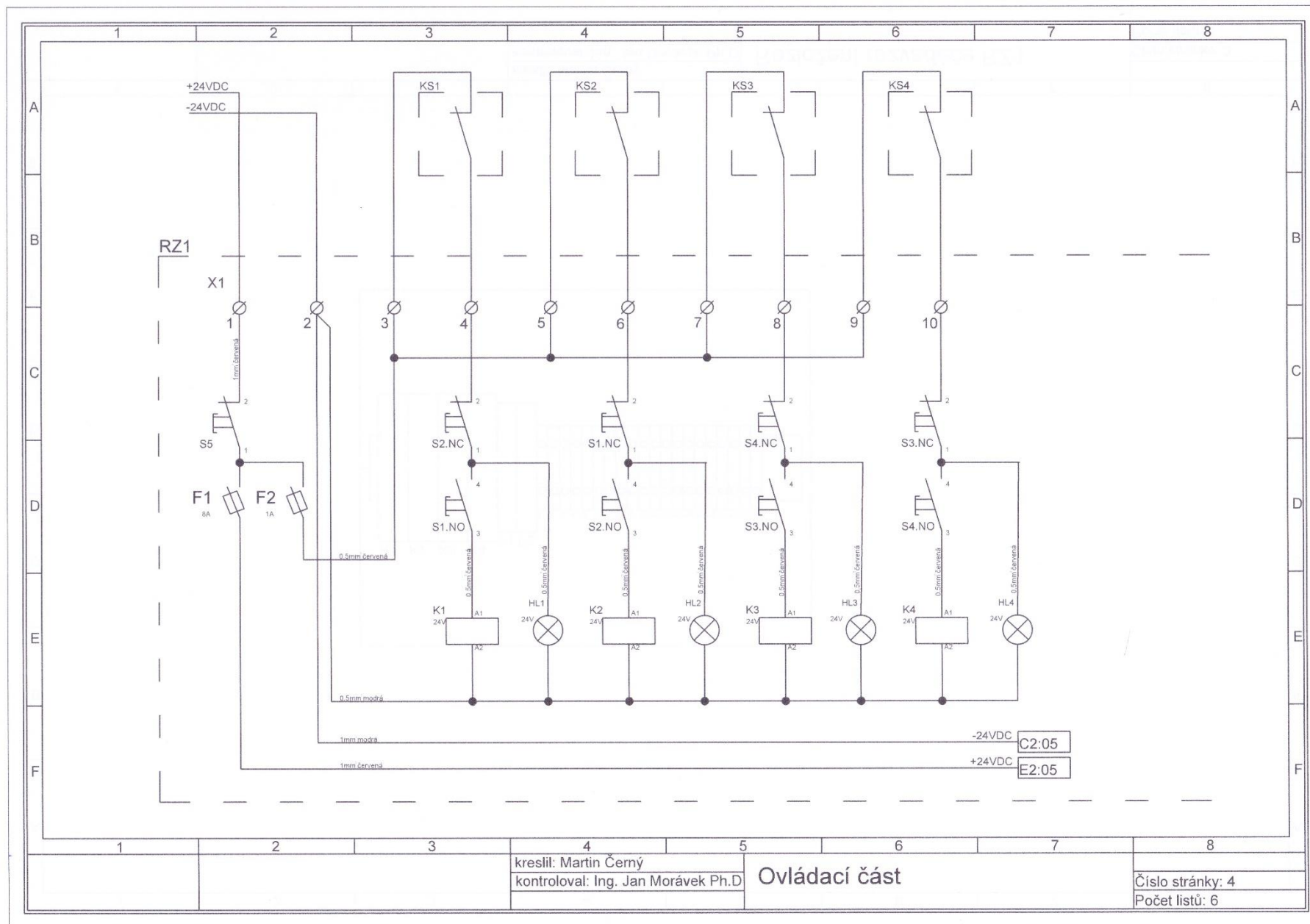
kreslil: Martin Černý

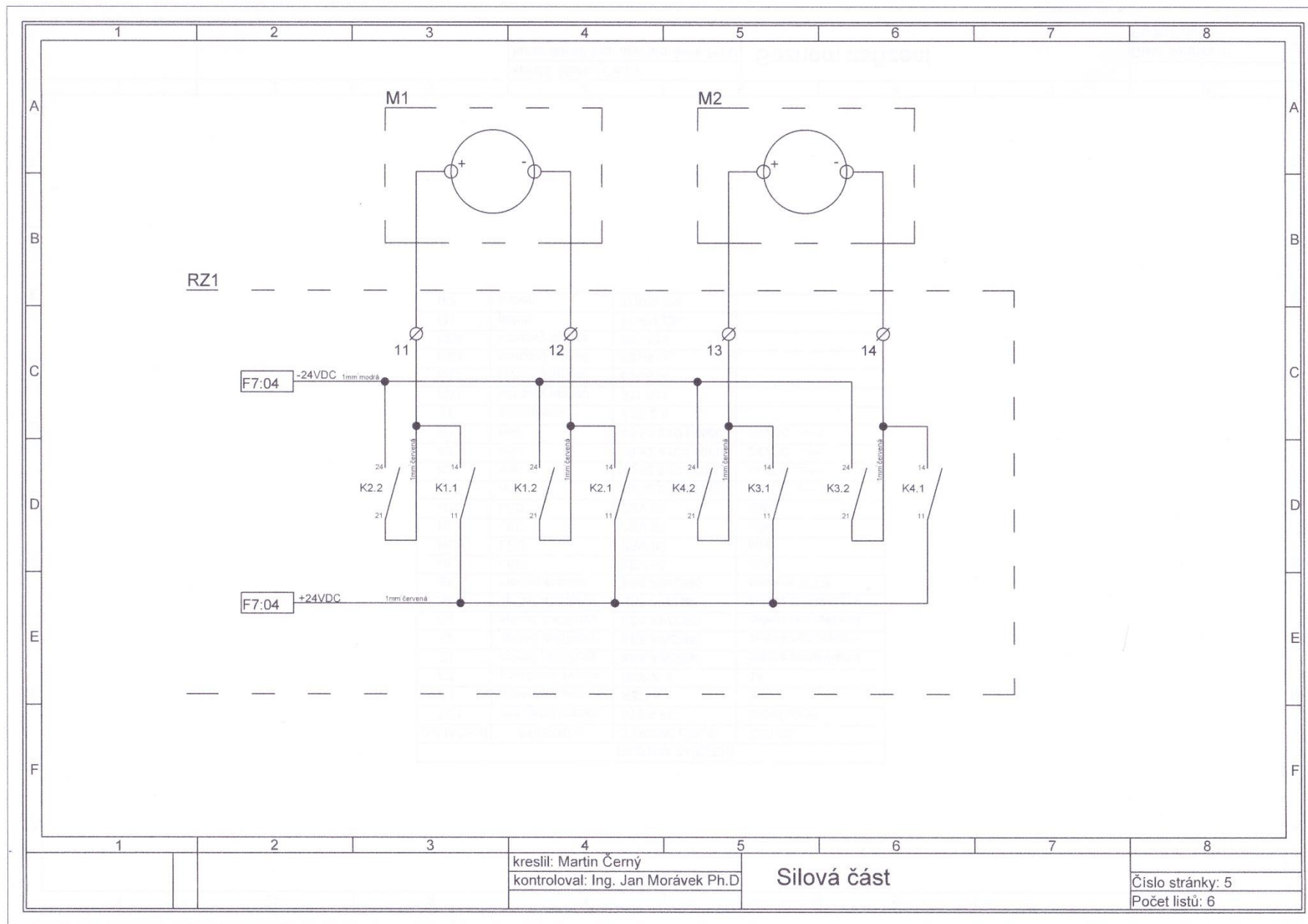
Číslo stránky: 1

Počet listů: 6











	1	2	3	4	5	6	7	8	
A									A
B									B
C									C
D									D
E									E
F									F
	1	2	3	4	5	6	7	8	
SEZNAM ZAŘÍZENÍ									
OZNAČENÍ	PŘÍSTROJ		TYPOVÉ ČÍSLO		DETAIL				
RZ1	instalační krabice		010.A.PL		240x190x90				
F1	pojistková svorka		RSP A 4		8A				
F2	pojistková svorka		RSP A 4		1A				
S1	spínač tlačítkový		XB5 AW33B5		zelená podsvětlená				
S2	spínač tlačítkový		XB5 AW33B5		zelená podsvětlená				
S3	spínač tlačítkový		XB5 AW33B5		zelená podsvětlená				
S4	spínač tlačítkový		XB5 AW33B5		zelená podsvětlená				
S5	hlavice stiskací		XB5 AW33B5		červené STOP				
HL1	LED		ZBV B3		bílá				
HL2	LED		ZBV B3		bílá				
HL3	LED		ZBV B3		bílá				
HL4	LED		ZBV B3		bílá				
K1	relé		40.52.9.024.0000		24VDC ~				
K2	relé		40.52.9.024.0000		24VDC ~				
K3	relé		40.52.9.024.0000		24VDC ~				
K4	relé		40.52.9.024.0000		24VDC ~				
X1	svorkovnice		A2C 2.5						
KS1	koncový spínač		631-514						
KS2	koncový spínač		631-514						
KS3	koncový spínač		631-514						
KS4	koncový spínač		631-514						
M1	pohon		TURN 224						
M2	pohon		TURN 224						
			kreslil: Martin Černý		Seznam zařízení				Číslo stránky: 6
			kontroloval: Ing. Jan Morávek Ph.D						Počet listů: 6

# Výkresová dokumentace – ovládání s PWM regulátorem

